

# Vývoj technologie lisovaných součástí

Jan Grygar

---

Bakalářská práce  
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

**Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně**

**Fakulta technologická**

**Ústav výrobního inženýrství**

**akademický rok: 2009/2010**

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

**(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)**

**Jméno a příjmení: Jan GRYGAR**

**Studijní program: B 3909 Procesní inženýrství**

**Studijní obor: Technologická zařízení**

**Téma práce: Vývoj technologie lisovaných dílů**

**Zásady pro vypracování:**

- 1) Uvedte technologii výroby lisovaných součástí**
- 2) Provedte návrh tahových a tvarovacích ploch pro jednotlivé operace**
- 3) Provedte simulaci výtažku s využitím konečných prvků.**
- 4) Návrněte odladění kritických rozměrů.**

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Blaščík,F.akol.:Technológia tvárnenia, zlievárenstva a zvarania.Alfa Bratislava.SNTL Praha.1988

Forejt,M.:Teorie tváření.CERM Brno.2007

Kotouč,J. a kol.:Tvářecí nástroje.Vydavatelství ČVUT Praha 1993

Metal Forming Handbook. Schuler. 1.st edition. Berlin : Springer-Verlag, 1998. 563 s. ISBN 3-540-61185-1

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Imrich Lukovics, CSc.**

Ústav výrobního inženýrství

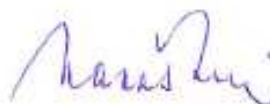
Datum zadání bakalářské práce: **19. února 2010**

Termín odevzdání bakalářské práce: **2. června 2010**

Ve Zlíně dne 18. ledna 2010



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.  
*děkan*



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.  
*vedoucí katedry*

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby<sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3<sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60<sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60<sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 2. 6. 2010



<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací;

(1) Vysoká škola nevýdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlázení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdaním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>1)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

<sup>4)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybného projevu jeho vůle u soudu. Ústanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložil, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídí k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce Vás v teoretické části seznámí s technologií tváření, kdy jsou detailněji představeny především technologie stříhání a tažení. V praktické části navrhuji technologii lisování dveřního zámku automobilu a vizualizuji plochy jednotlivých operací lisovacího nástroje v 3D CAD systému Catia. Dále jsou prezentovány výsledky simulace lisovatelnosti ze softwaru Autoform a nakonec odladění kritických rozměrů daného výlisku, jak při simulacích, tak z hlediska povýrobní fáze.

Klíčová slova: výlisek, technologie lisování, simulace v softwaru autoform, odladění dílu.

## **ABSTRACT**

The following bachelor study will give you in theory better understanding regarding technology of stamping of the metal parts, particularly technology of cutting and drawing. In the practical part I propose the technology for the stamping of car's door lock and the visualization of the individual areas of each operation in the stamping tool, all shown in 3D CAD, Catia software. Additionally I also present the results of the simulations for feasibility of the stamping in software Autoform and finally adjustment of the risk dimensions in the part itself in the phase of advance simulations as well as in the phase of optimization loops after first tryouts of stamping.

Keywords: stamped part, stamping technology, Autoform simulation, adjustment of part.

Poděkování:

Rád bych touthle cestou poděkoval Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně za umožnění dostudovat tenhle zajímavý obor, dále bych chtěl poděkovat mému vedoucímu bakalářské práce Prof. Ing. Imrichovi Lukovicsovi CSc. za ochotu, pomoc a cenné rady.

Dále patří velké dík mým rodičům a přítelkyni za podporu, pomoc a trpělivost.

Poděkování také patří firmě PWO Unitools CZ a.s., hlavně panu Ing. Janu Brimusovi a Ing. Martinovi Slámovi.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ</b> .....	<b>12</b>
1.1 TERMINOLOGIE.....	12
1.1.1 Pružná a plastická deformace kovových těles .....	12
1.1.2 Změna mechanických vlastností .....	13
1.1.3 Tvařitelnost kovů a slitin.....	13
1.1.4 Podmínky plasticity.....	14
1.2 ZÁKONY TVÁŘENÍ.....	14
<b>2 TECHNOLOGIE STRÍHÁNÍ</b> .....	<b>16</b>
2.1 STRÍŽNÝ PROCES .....	16
2.2 STRÍŽNÁ SÍLA .....	17
2.3 STRÍŽNÁ VŮLE .....	19
2.4 KVALITA STRÍŽNÉ PLOCHY .....	20
<b>3 TAŽENÍ</b> .....	<b>22</b>
3.1 TECHNOLOGIE TAŽENÍ ROTAČNĚ SYMETRICKÝCH TVARŮ .....	23
3.1.1 Tažení bez ztenčení stěny.....	23
3.1.2 Tažení se ztenčením stěny.....	23
3.1.3 Tažení zpětné .....	24
3.1.4 Protahování .....	25
3.1.5 Rozšiřování .....	25
3.1.6 Zužování.....	25
3.1.7 Přetahování.....	26
3.2 TECHNOLOGIE TAŽENÍ NEROTAČNÍCH TVARŮ .....	26
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>28</b>
<b>4 PŘEDSTAVENÍ PWO UNITOOLS CZ A.S.</b> .....	<b>29</b>
<b>5 VZNIK VÝROBKU KROK ZA KROKEM</b> .....	<b>30</b>
<b>6 TECHNOLOGIE LISOVÁNÍ VÝTAŽKU</b> .....	<b>35</b>
6.1 NÁVRH TAHOVÝCH A TVAROVÝCH PLOCH.....	36
6.1.1 Předtah.....	36
6.1.2 Tah.....	37
6.1.3 Tvarování nahoru .....	38
6.1.4 Lemování dolů.....	38
6.1.5 Lemování nahoru.....	40
6.1.6 Kalibrace .....	40
<b>7 SIMULACE TAŽENÍ VÝTAŽKU</b> .....	<b>42</b>
<b>8 ÚPRAVY PLOCH A KRITICKÝCH ROZMĚRŮ</b> .....	<b>48</b>
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>53</b>



<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>54</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>55</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>56</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>58</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>59</b>

## ÚVOD

Strojírenství v České republice je zaměřeno z velké části na výrobu tvářených dílů pro automobilový průmysl. Technologie tváření zahrnuje výrobní procesy a metody, kterými se vytváří požadovaný tvar výrobku. Cílem technologie tváření je dosažení požadovaného tvaru, jakosti a rozměrové přesnosti výrobku efektivně, jak z hlediska časové náročnosti, tak i finančních nákladů. Při tváření dílů pro automobilový průmysl, které vyhovují mechanickým vlastnostem a bezpečnostním požadavkům, je kladen stále větší důraz i na stránku designu. V tomto odvětví je třeba díky obrovské konkurenci držet krok i v oblastech materiálového inženýrství, svařování materiálů a konstrukce dílů.

Z technologií tváření se nejčastěji uplatňují technologie tažení a technologie stříhání. Technologie stříhání je operace, při které dochází k účelnému porušování soudržnosti materiálu. Opakem je tažení dílců, kdy k poruše soudržnosti materiálu nesmí vůbec dojít. Abychom se tomuto vyhnuli a navrhli co nejefektivnější technologický postup a vhodný nástroj, je třeba využívat progresivních nástrojů s použitím nejmodernějších systémů počítačové simulace.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ

Při tváření je materiál účinkem vnějších zatížení uveden do plastického stavu, ve kterém mění svůj tvar i vlastnosti, a je přetvořen do konečné podoby výrobku bez porušení jeho soudržnosti.

Cílem teorie tváření je matematický popis tvářecího děje na základě obecných principů teorie plasticity aplikovaných na skutečné nevratné tvářecí procesy. Teorie tváření uplatňuje fyzikální, fyzikálně chemické, mechanické a termodynamické zákony při řešení přechodu tělesa z pružného do plastického stavu a při plastickém přetvoření materiálu za zjednodušených předpokladů a okrajových podmínek.

V první řadě teorie tváření souvisí s určením velikosti tvářecích sil a přetvárných prací, což umožňuje volbu tvářecího stroje a v prvním přiblížení i dimenzování nástrojů. Tvářený materiál je charakterizován přirozeným přetvárným odporem, jenž zahrnuje všechny vlivy procesu tváření za konkrétních podmínek.

Tvářecí procesy probíhají za obecných termodynamických podmínek. Modelování a matematický popis těchto reálných dějů umožňuje teprve současný rozvoj experimentální a počítačové techniky. Na základě experimentů za definovaných podmínek je prováděn matematický popis při termodynamických vlastnostech tvářených kovů.

Při plastickém přetvoření nelze působit vnějšími silami posouvat ani překládat či nahradit účinkem jejich výslednice. Tato skutečnost má velký význam při rozboru napjatosti a přetvoření, protože k plastickému přetvoření zpravidla nedochází v celém objemu tělesa, ale pouze v lokálních místech, v tzv. tvářených objemech. Pro nerovnoměrné přetvoření celého objemu je třeba stanovit sílu vhodně rozložit do potřebných míst tvářeného tělesa nebo volit postupné přetvoření v lokálních místech a směrech. [1]

## 1.1 Terminologie

### 1.1.1 Pružná a plastická deformace kovových těles

Teorie tváření je rozvíjena především pro kovy a jejich slitiny. Změnu tvaru kovového tělesa způsobenou vnějšími silami nazýváme deformací. Každou trvalou plastickou deformací předchází deformace pružná – elastická. Elastická deformace nám podle mého názoru negativně ovlivňuje náměry na výlisku. Způsobuje nám totiž odpružení, kvůli kterému se tvary tvárníků musí upravovat, aby tohle odpružení eliminovaly.

Pojem deformace je používán v teorii velmi malých rozměrových změn v pružné a v pružně plastické oblasti při zkoumání mezních stavů monokrystalů a polykrystalů. Pro označení dílčích a součtových hodnot velkých plastických deformací při tváření reálných kovů používáme pojmu přetvoření.

V průběhu přetvoření může dojít i k nežádoucímu porušení spojitosti kovu vznikem trhlin nebo celkovou destrukcí tvářeného tělesa. Každému porušení předchází vždy nestabilní lokální plastické deformace. Porušení křehkým lomem předcházejí pouze pružné a mikroplastické deformace, porušení tvárným lomem deformace makroplastické. [1, 2]

### 1.1.2 Změna mechanických vlastností

Zpevňování kovových materiálů při tváření za studena má zásadní vliv na jeho mechanické vlastnosti. Pevnost v tahu i mezi kluzu se s rostoucím přetvořením zvyšuje, zatímco tažnost klesá. Při tváření se nejenom zvyšuje pevnost, dá se využít i geometrie dílu přidáním různých prolisů přechodů a rádiusů, které zvýší pevnost i tuhost dílu, popřípadě jeho tvarovou stálost.

### 1.1.3 Tvařitelnost kovů a slitin

Tvařitelnost kovů a slitin je schopnost trvale měnit tvar bez porušení tvářeného tělesa v konkrétních technologických podmínkách (vlastností materiálu, nástroje, prostředí, teploty a mechanického zatížení), které umožňují vyrobit součást s požadovanými rozměry a vlastnostmi, a je tedy ovlivněna deformačním odporem.

Základní potřebnou vlastností tvářeného materiálu je plasticita, která je definována velikostí plastického přetvoření po porušení tělesa v daných termomechanických podmínkách, tj. teploty, napjatosti a rychlosti smykové deformace – rychlosti přetvoření.

### 1.1.4 Podmínky plasticity

Těleso se svými mechanickými vlastnostmi přechází z pružného do plastického stavu za zcela konkrétních podmínek stavu napjatosti, teploty a rychlosti zatěžování. Hranici tohoto přechodu nazýváme podmínkou plasticity.

K přetvoření dochází buď v rovinách s největší koncentrací potenciální energie nebo v rovinách maximálních smykových napětí. Z pracovních diagramů tahových a tlakových zkoušek rovněž plyne, že k přechodu do plastické oblasti dochází po dosažení kritického napětí na mezi kluzu.

## 1.2 Zákony tváření

Tvářecí procesy se řídí řadou zákonitostí. Jsou to například:

- 1) Zákon stálosti objemu – je jedním ze základních zákonů volného tvářecího děje, kdy velká nehomogenní přetvoření v hlavních směrech jsou definována hodnotami skutečnými. Objem tělesa před přetvořením je roven objemu tělesa po přetvoření.
- 2) Zákon stálosti potenciální energie změny tvaru – velikost měrné potenciální energie, potřebné na trvalou změnu tvaru tělesa je konstantní hodnotou nezávislou na schématu napjatosti.
- 3) Zákon nejmenšího odporu – Ze všech možných směrů pohybu bodů tvářeného tělesa se každý bod bude posouvat ve směru nejmenšího odporu.
- 4) Zákon maximálních smykových napětí a zákon zpevnění – Plastické přetvoření kovového tělesa nastane tehdy, když maximální smykové napětí dosáhne mezní hodnoty. Maximální smykové napětí působí v rovinách skloněných pod úhlem  $45^\circ$  ke směrům hlavních napětí. V průběhu tváření dochází ke zpevnění (za studena nebo poloohřevu), nebo dochází i k opevnění (za tepla).
- 5) Zákon odpružení po trvalé změně tvaru – plastická přetvoření předchází pružná deformace charakterizována až do meze úměrnosti podle Hookova zákona modelem pružnosti v tahu jako konstantou úměrnosti. Celkové přetvoření je vždy součtem elastické a plastické složky.

6) Zákon přídatných napětí – u skutečných tvářecích přechodů nastává stav místních nerovnoměrných napjatostí a v důsledku toho i nerovnoměrných přetvoření která jsou způsobena:

- složitým tvarem tvářeného tělesa a nástroje
- třením mezi povrchem tvářeného kovu a nástroji
- nerovnoměrným rozložením teplot uvnitř tvářeného tělesa
- chemickou nestejnorodostí
- neizotropními mechanickými vlastnostmi tvářeného kovu.

V Důsledku působení všech uvedených vlivů vznikají v tvářeném tělese napětí, která se vzájemně vyrovnávají a vzhledem k vnějším podmínkám rovnováhy nemohou být zahrnuta do schématu napjatosti tělesa. Tato napětí označujeme jako přídatná a jsou trvalým jevem při tvářecích pochodech.

- 7) Zákon podobnosti – dvě tělesa o různých rozměrech jsou podobná budou-li splňovat podmínky mechanické, geometrické a fyzikální podobnosti.
- 8) Zákon tření – Vnější tření mezi tvářeným materiálem a nástroji je původním jevem všech tvářecích pochodů. Tření je definováno jako odpor proti relativnímu pohybu dvou stýkajících se těles. [1]

## 2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ

Stříhání patří k nejpoužívanějším operacím tváření a dochází při ní k porušení soudržnosti materiálu působením síly na střížné nože. Střížené části mohou být jak ke konečnému použití, tak mohou být opracovány další technologií (např. tažení, ražení, ohýbání...).

Aby byly výsledky stříhu optimální, musíme dodržovat základní podmínky a parametry, jako je ostří nožů, vůle mezi nimi, vlastnosti stříženého materiálu, způsob stříhání atd. [3, 4]

### 2.1 Střížný proces

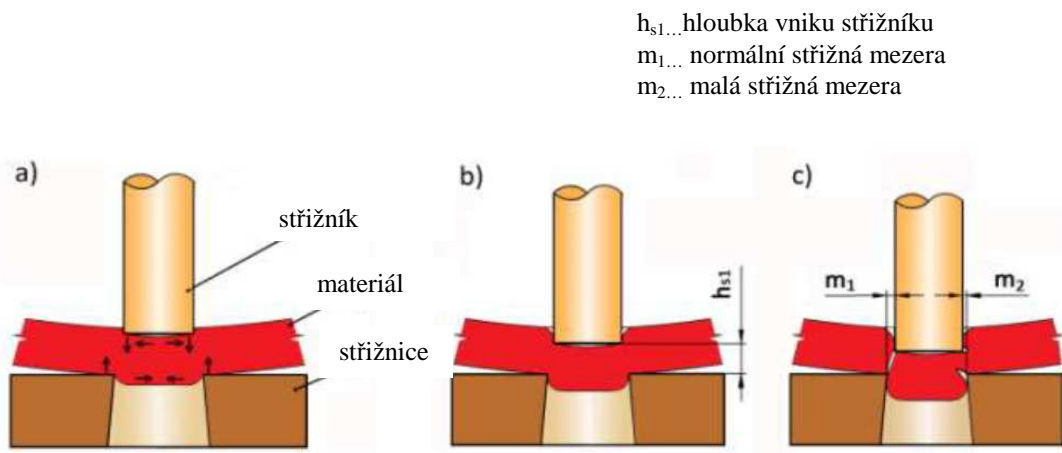
Při stříhání působí na materiál nože tak, aby byl materiál v určitém místě ustříhnut. Tento proces začíná dosednutím střížníku na materiál a končí oddělením stříhaného materiálu. Nože přesunující části stříhaného kovu způsobují ve střížné ploše vznik tahových napětí. K přetvoření stříhaného materiálu dojde v oblasti mezi střížnými noži. Při dalším vzájemném posuvu nožů budou v této oblasti vlákna postupně ohýbána a protahována. Po vniknutí do určité hloubky materiálu, dosáhne tahové napětí takové hodnoty, že dojde k porušení a vzniku trhliny ve směru největšího smykového napětí. Největší tahové napětí je na břitu střížného nože, a proto vzniká první trhlina obvykle v tomto místě. S dalším postupem nožů vznikají další trhliny až do úplného oddělení materiálu.

Průběh stříhání se dělí do tří základních fází. V první fázi střížník vyvolává napětí v tvářeném kovu menší než mez pružnosti a dochází pouze k pružné deformaci. Hloubka vniku střížníku do materiálu, v závislosti na jeho vlastnostech, bývá 5 – 10 % jeho tloušťky. Vznikem silových dvojic v rovinách kolmých k střížným plochám se materiál ohýbá mezi střížníkem a střížnicí.

V druhé fázi je vyvolané napětí v materiálu větší než jeho mez kluzu a dochází k trvalé deformaci. Vnik nože do materiálu se pohybuje v rozmezí 10 – 25 % jeho tloušťky a na konci druhé fáze napětí v materiálu dosahuje meze pevnosti ve stříhu.



Ve třetí fázi je namáhání materiálu nad mezí pevnosti ve stříhu a dochází k jeho oddělení. Velikost vniknutí střížníku do materiálu je 10 – 60 % jeho tloušťky a závisí na druhu materiálu a velikosti střížné mezery. Nejdříve vzniknou v materiálu mikroskopické a poté makroskopické trhliny u hran střížníku a střížnice. Trhliny se rychle prodlužují, až nastane oddělení výstřížku od základního materiálu. Rychlost postupu trhlin závisí na vlastnostech stříhaného materiálu a průběh trhlin závisí na velikosti střížné mezery. [3, 4]



obr. 1 Střížný proces a jeho fáze

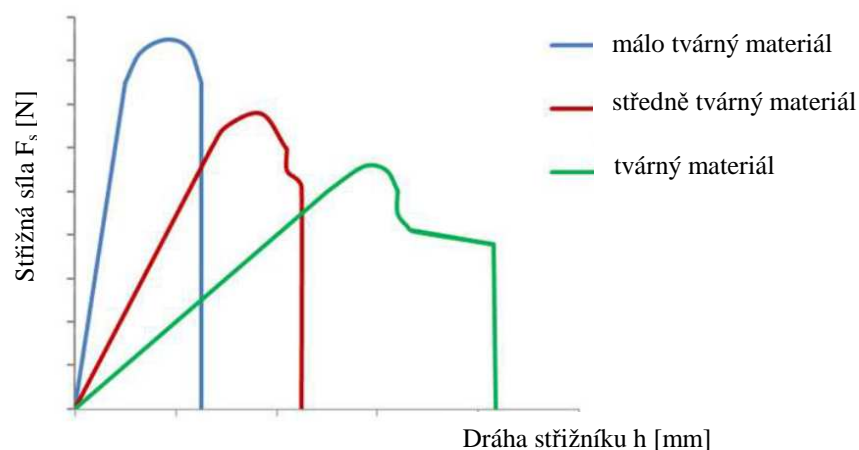
## 2.2 Střížná síla

Střížná síla patří k základním parametrům střížného procesu a je velmi důležitá pro výběr vhodného lisu, kterým má být tento proces uskutečněn. Velikost střížné síly se v průběhu stříhání mění. Vzniká při dotyku střížných nožů s výchozím materiálem a pak roste až do vzniku trhliny v stříhaném materiálu, kdy začíná klesat. V okamžiku oddělení materiálu klesá na nulu. U křehkých materiálů, které mají malý rozdíl mezi mezí kluzu a pevnosti, dojde k ustříhnutí při nepatrném vniku střížníku do stříhaného materiálu. Naopak u měkčích materiálů s výrazným rozdílem mezi mezí kluzu a pevnosti, dojde k odstřížení při větším vniku střížníku.

Velikost střížné síly v každém okamžiku je dána součinem dvou proměnných veličin, a to střížnou plochou a střížným odporem, kdy odpor neboli pevnost materiálu je ovlivněn následujícími činiteli:

- Vlastnosti stříhaného materiálu a jeho tloušťka
- Vlastní střížná vůle
- Tvar a rozměry křivky stříhu
- Konstrukce stříhadla a podmínky při stříhání

Následující obrázek znázorňuje průběh střížné síly pro různě tvárné materiály v závislosti na dráze.



obr. 2 Průběh střížné síly

Velikost střížné síly při stříhu s rovnoběžnými noži se vypočítá ze vztahu

$$F_S = k \cdot l \cdot s \cdot 0,8R_m [\text{N}] \quad \text{kde} \quad k \dots \text{součinitel otupení břitů}$$

$$l \dots \text{délka stříhu [mm]}$$

$$s \dots \text{tloušťka plechu [mm]}$$

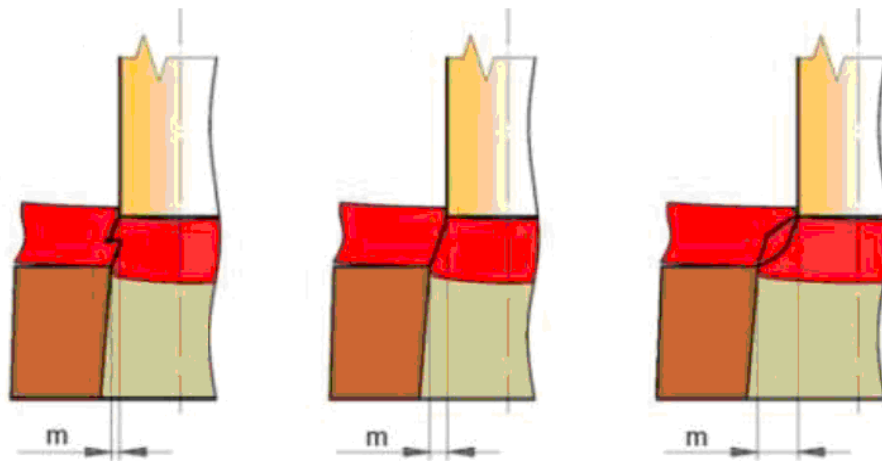
$$R_m \dots \text{mezi pevnosti v tahu [N.mm}^{-2}\text{]}$$

Velikost střížné síly lze měnit zkosením střížných břitů, kdy stříh probíhá postupně. Zkosení může být jak na střížníku, tak na střížnici. [3, 4, 5]

### 2.3 Střížná vůle

Při stříhání vniká střížník do střížnice s vůlí na každé straně, jedná se tedy o rozdíl mezi rozměrem střížníku a střížnice. Velikost střížné mezery má být rovnoměrná na všech místech křivky stříhu. Vhodně zvolená velikost střížné vůle zaručuje setkání trhlin a tím správné oddělení stříhané plochy.

Na obrázku je znázorněn vliv mezery  $m$  na kvalitu střížné plochy. V prvním případě je střížná vůle malá a v posledním naopak velká, optimum je uprostřed.



obr. 3 Střížná vůle

Střížná vůle má vliv na:

- Velikost střížné síly
- Velikost střížné práce
- Trvanlivost břitů a spotřebu energie
- Kvalitu střížných ploch
- Vznik ostřin

Střížnou vůli vypočítáme pro plechy o tloušťce do 3 mm následovně:

$$m_s = c \cdot s \cdot 0,32 \sqrt{\tau_{ps}}$$

$m_s$  ... střižná mezera ( $1/2$  střižné vůle) [mm]

$c$  ... koeficient (0,005 – 0,025), nižší hodnota pro lepší střižnou plochu, vyšší pro minimální

střižnou sílu

$s$  ... tloušťka plechu [mm]

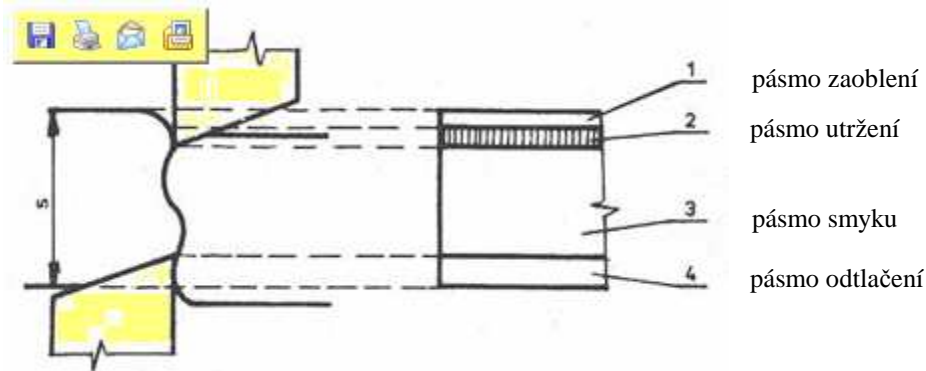
$\tau_{ps}$  ... pevnost ve stříhu [Mpa]

Při nestejném rozložení střižné vůle po obvodě vznikají povrchové vady a ostřiny. Tyto závady jsou též způsobeny otupenými břity funkčních částí. Otupením nástroje se střižná vůle zvětšuje. Jestliže se otupí břit na střižníku, vzniká ostřina na vystřižené části. Při otupení střižnice vzniká kolem vyděrovaného obvodu. [3, 4, 6]

## 2.4 Kvalita střižné plochy

Výsledná kvalita povrchu stříhu při běžném způsobu stříhání není velmi dobrá. Vzniká mírně zkosená plocha stříhu s drsným povrchem a vytaženou ostřinou. Výška ostřin závisí na stavu střižníku i střižnice a zda stříháme na sucho nebo materiál mažeme. V průběhu stříhání se trhliny, postupující od břitů obou nožů, setkávají uprostřed děleného materiálu a vytvoří střižnou plochu. Pokud se nesečkají přesně svými čely, vytvoří se na povrchu střižné plochy zádrh nebo tříska.

Znázornění střižné plochy a jejich vrstev je na následujícím obrázku č. 4.



obr. 4 Střížná plocha

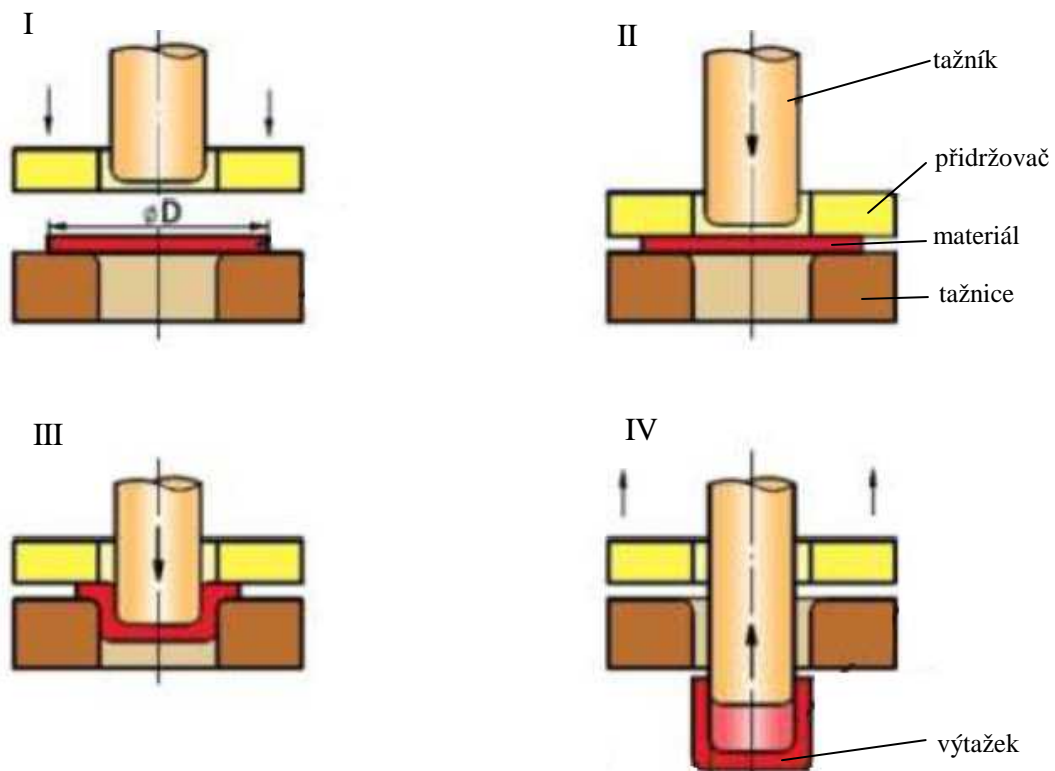
Kvalitu střížné plochy tedy ovlivňuje především použitý materiál, technický stav nástroje a střížná vůle.

Na kvalitu povrchu stříhu má vliv také zpevnění, ke kterému v průběhu stříhání dochází. Materiál se deformuje a úměrně se stupněm deformace se zpevňuje a je také omezena jeho tvárnost. Největšího zpevnění je dosaženo v těsné blízkosti střížné plochy. Hloubka takto zpevněné vrstvy je ovlivněna především tloušťkou a vlastnostmi materiálu, střížnou vůlí a stavem břitů. Např. při stříhání tvrdých a tlustých ocelí bývá zpevněná vrstva asi 20% tloušťky materiálu, ale u měkkých a tenkých ocelí až 35% a více. Vlivem zpevnění může při dalším opracování docházet ke vzniku trhlin, ale tyto následky je možné odstranit vyžínáním nebo obrobením střížné plochy. [3, 4]

### 3 TAŽENÍ

Tažení je technologický proces plošného tváření, kdy se z rovinného přístřihu plechu zhotovují výtažky například jednoduchého rotačního tvaru, hranaté nebo složité nesymetrické části. Požadovaného tvaru výtažku je dosaženo, aniž by došlo k podstatným změnám tloušťky materiálu.

Princip tažení můžeme snadno vysvětlit na tažení jednoduchého výtažku válcového tvaru se dnem. Hlavní části tažného nástroje se nazývají tažník a tažnice a mohou být použity s přídržovačem, nebo bez něj. Tažný proces lze rozdělit do čtyř fází, kdy v první fázi je výchozí materiál umístěn na tažnici. V druhé fázi je materiál sevřen přídržovačem a tažník se přibližuje ke zpracovávanému materiálu. Ve třetí fázi se tažník zasouvá do tažnice, posunuje výchozí materiál přes zaoblenou tažnou hranu a protahuje jej otvorem v tažnici. Po vytažení tvaru s požadovanými parametry se tažník s přídržovačem navrácí do původní polohy. [2, 4]



obr. 5 Tažení

### 3.1 Technologie tažení rotačně symetrických tvarů

K základním metodám tažení patří:

- Tažení bez ztenčení stěny (prosté tažení)
- Tažení se ztenčením stěny
- Tažení zpětné
- Protahování
- Rozšiřování
- Zužování
- Přetahování

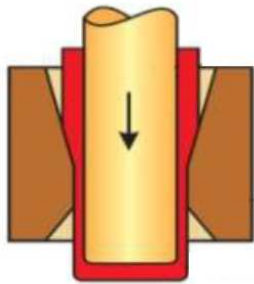
#### 3.1.1 Tažení bez ztenčení stěny

Při tomto způsobu tažení je mezi tažníkem a tažnicí dostatečná vůle, a tím nedochází ke změně tloušťky zpracovaného materiálu. Metoda využívá z konstrukčního hlediska jednoduchá a levná tažidla, která jsou provozně spolehlivá. Nevýhodou je dodržování malé redukce, aby nedocházelo k deformaci okraje taženého dílu. Prosté tažení bez přidržovače se používá především k výrobě nízkých tvarově jednoduchých výtažků.

Díky tažení s přidržovačem, který svírá opracováváný materiál, lze dosáhnout větších redukcí a omezit zvlnění okraje taženého materiálu.

#### 3.1.2 Tažení se ztenčením stěny

Touto technologií dochází k podstatnému ztenčení stěny výtažku a díky čemuž získáme výtažek delší než při předchozím způsobu tažení. Ztenčení se zejména uplatňuje u druhého a následujících tazích. Náběrová hrana tažnice je zkosena optimálně pod úhlem  $60^\circ$  a velmi důležité mazání, aby se redukovalo případné zadírání.



obr. 6 Tažení se stenčením tažné nezery

### 3.1.3 Tažení zpětné

Výtažek je při tomto způsobu tažení méně namáhán a dochází k menšímu ztenčení. Oproti prostému tažení se dosahuje až o 25% větší redukce. Princip vysvětluje následující obrázek, kdy jsou použity i přidržovače.

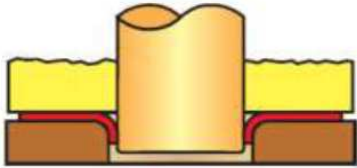


obr. 7 Zpětné tažení



### 3.1.4 Protahování

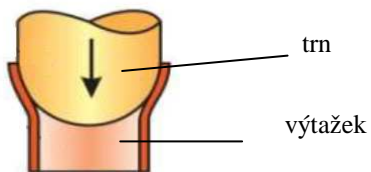
Předpokladem této operace je již vyděrovaný otvor v materiálu, kdy průměr otvoru musí být takový, aby množství zbylého kovu bylo dostatečné pro vytažení stěny požadované výšky. Používají se protahovačla, nástroje podobné těm, které se používají při běžném tažení.



obr. 8 Protahování

### 3.1.5 Rozšiřování

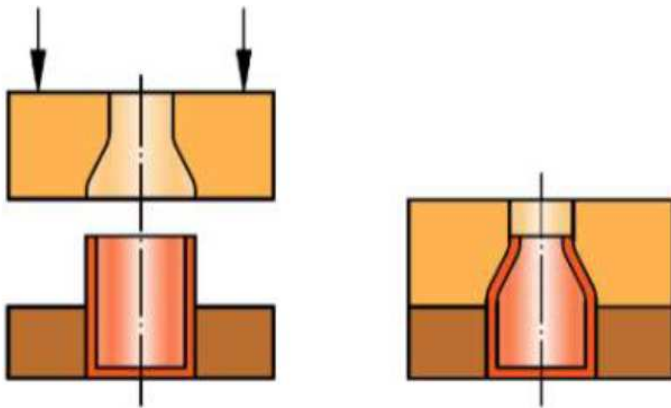
Rozšiřování se užívá v případě, kdy je třeba zvětšit průměr již vytvořeného výtažku.



obr. 9 Rozšiřování

### 3.1.6 Zužování

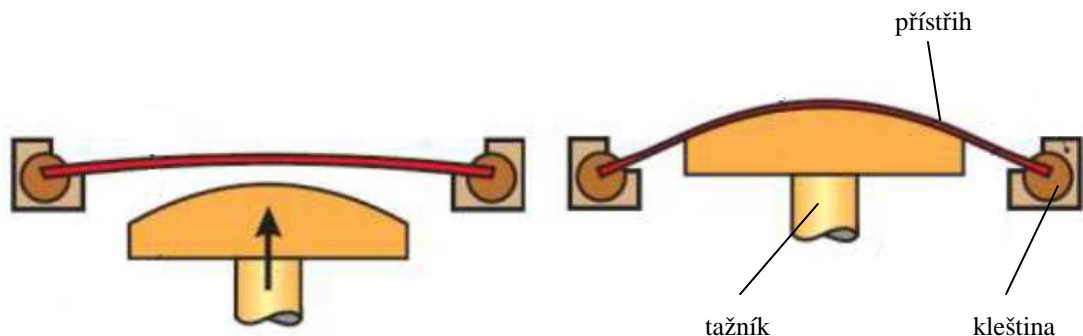
Zúžením redukuje otevřený konec výtažku, průměr dna zůstává stejný. Zužováním se materiál zpevňuje a klesá jeho plasticita. Aby se zabránilo tvorbě trhlin, tak se výtažky žíhají. Postup zobrazuje následující obrázek.



obr. 10 Zužování

### 3.1.7 Přetahování

Přetahováním tvarujeme plech na jednoduchý výtažek pomocí napínání přes šablonu tzv. tažník. Přístřih plechu je pevně uchycen v kleštinách. Nevýhodou této technologie je nízká produktivita a velká spotřeba materiálu, protože plech upevněný v kleštinách se odstřihne. Naopak výhodou je malá pořizovací cena nástroje. [5, 7, 8]

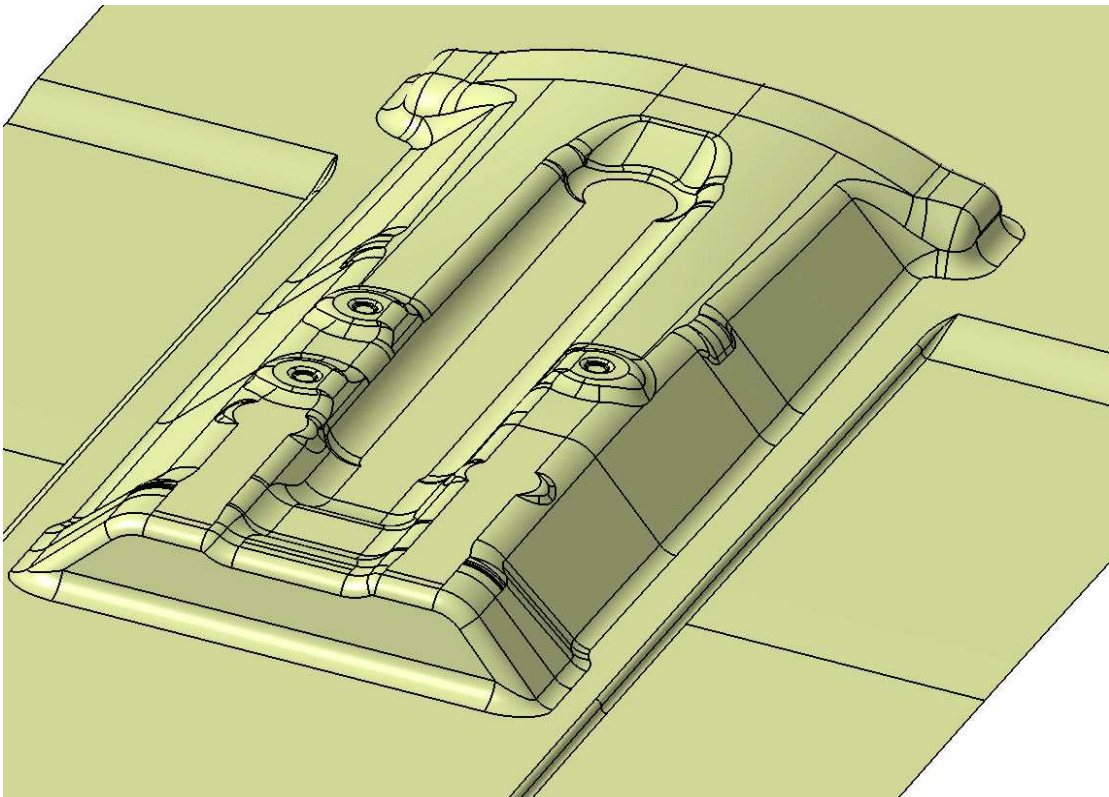


obr. 11 Přetahování

## 3.2 Technologie tažení nerotačních tvarů

Při tažení nerotačních tvarů, např. čtvercového, obdélníkového nebo nepravidelného tvaru, jsou podmínky složitější. K plastické deformaci dochází na celé ploše tvářeného dílu. Plocha taženého materiálu pod přidržovačem je ve srovnání s celkovou plochou materiálu malá a pracovní části tažnice, tažníku i přidržovače bývají složitě zakřivené. Při tažení nepravidelných výtažků dochází oproti tažení pravidelných výtažků ke ztrátě stability a rovinné

napjatosti a k vzniku nerovnoměrných a nestejnorodých napjatostí ve zpracovávaném materiálu.



obr. 12 Tažnice – nerotační tvary

Na rozdíl od tažení symetrických výtažků, kdy se odpor taženého materiálu v přírubě zmenšuje, při tažení nesymetrických výtažků se naopak odpor zvětšuje použitím brzdících žeber.

Pro změnu toku materiálu se nejčastěji používají následující úpravy tažidel:

- celkové nebo místní zvětšení tlaku
- zvětšení plochy taženého materiálu pod přidržovačem
- použití zaoblených nebo pravoúhlých brzdících žeber

Zvětšení tlaku zvyšuje tření na povrchu přidržovače, čímž dochází k požadované rovinné napjatosti ve středu tažnice. Při druhé úpravě se zvětší tahová napjatost, dochází k rozšíření plochy pod přidržovačem a tím k větší spotřebě materiálu. Nejefektivnější je použití brzdících žeber. [7, 8]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

#### 4 Představení PWO Unitools CZ a.s.

Společnost PWO Unitools byla založena v roce 1992. Z počátku byla firma zaměřena na vývoj, konstrukci a výrobu vstřikovacích forem. Toto zaměření průběžně přešlo na vývoj výlisku a konstrukci a výrobu lisovacích nástrojů pro automobilový průmysl. V roce 1995 byla založena divize Unitools press, kde probíhalo lisování plechových výlisků. Lisovna v pozdějších letech přešla pod samostatného majitele.

V roce 2005 koupila firmu Unitools mezinárodní společnost PWO Oberkirch AG se sídlem v Německu. Koncern PWO mimo jiné vlastní podniky v Kanadě, Mexiku a nově i v Číně. Firma PWO ve Valašském Meziříčí zainvestovala nemalé peníze do výstavby nových hal pro lisování, montáž, logistického centra a nástrojárny. V divizi lisovna byly instalovány například nové 1250 ti tunové transferové klikové lisy, 400 tunové hydraulické lisy které jsou převážně využívány pro ruční zakládání výlisků, 500 tunový klikový lis, který je především určen pro postupové nástroje.



obr. 13 PWO Unitools CZ a.s.

Firma v dnešní době zaměstnává přes 300 zaměstnanců, kteří mají stabilní, zajímavou a různorodou práci s možností neustálého vzdělávání se a nabývání vlastního know-how.

PWO Unitools se chce stát dominantním výrobcem nástrojů a významným dodavatelem plechových výlisků pro automobilový průmysl.

## 5 Vznik výrobku krok za krokem

Vše začíná na obchodním oddělení, které obdrží poptávku od zákazníka se všemi náležitostmi potřebnými k tomu, aby se pro něj mohla vypracovat cenová nabídka. Pokud zákazník např. potřebuje vyrobit lisovací nástroj pošle obchodníkům např. název dílu, jeho model a výkres, doplní další informace ohledně produkce nástroje (počet vylisků za rok), zda chce postupový nástroj, transfer atd.

Obchodník informace dále předá oddělení vývoje technologie lisování, kde je model dílu zpracován v softwaru např. Catie. Zde jsou z tělesa vytvořeny horní a spodní plochy a dále se pracuje pouze s nimi. Díl je následně převeden do souřadného systému, protože většinou zákazník zasílá díl v jeho ustavení, což nejčastěji bývá ustavení auta.

Díl je nejdříve zpracován v softwaru Autoform onestep, který složí k určení rozměrů rozvinutého plechu, z kterého později pomocí přídavků určíme rozměr plechu např. pro jeden výrobek, tzv. platinu. Onestep je velice jednoduchý a rychlý simulační program zvláště vhodný pro cenové nabídky.

Z programu onestep si do Catie vyhrajeme konturu rozvinutého dílu, s kterou následně hledáme, jak díl nejlépe ustavit, aby byla spotřeba materiálu co nejmenší. Pak stanovujeme s pomocí výkresu součásti technologii lisování dané součásti, tzn. počet operací v lisovacím nástroji. Obrázek ukazuje počet operací v praxi, krok po kroku, postupový nástroj.



obr. 14 Vylisovaný pás

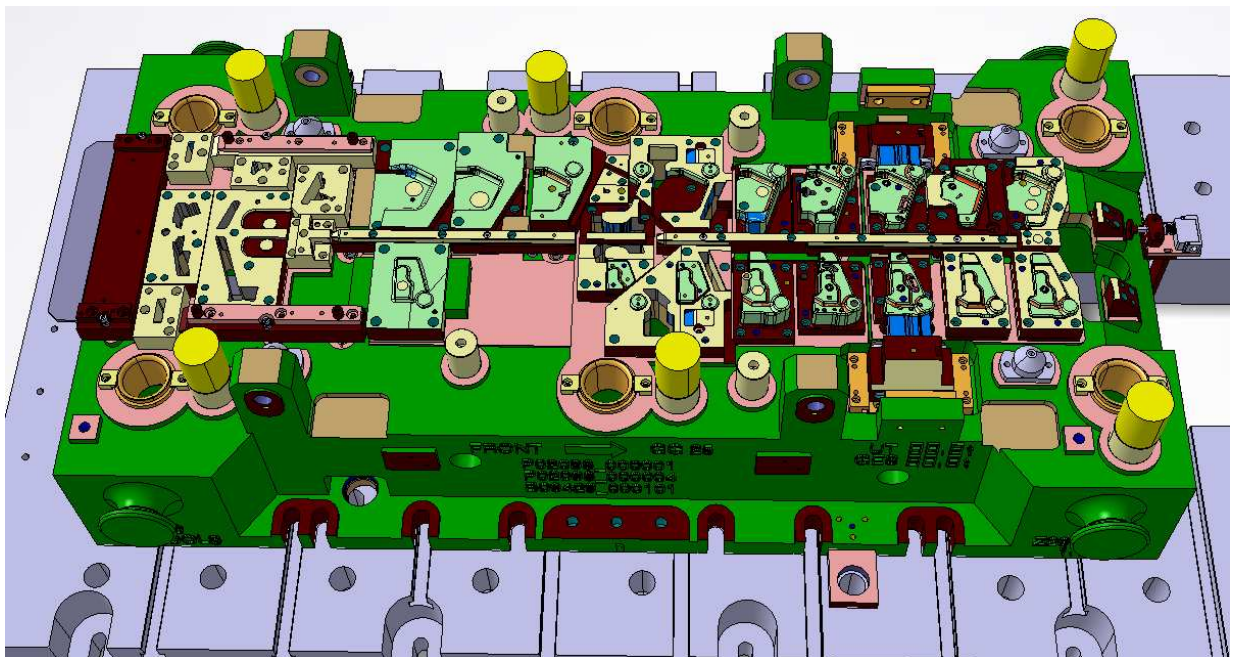
Obchodník dostane rozměry platiny a počet operací popř. typ nástroje, pokud nebyl zadán. Ten na základě těchto informací zpracuje cenovou nabídku pro zákazníka.



Pokud se zákazník rozhodne nechat nástroj vyrobít v naší společnosti vytvoří obchodní oddělení zakázku k danému nástroji, vytvoří termínový plán pro všechny oddělení a pošle aktuální data na vývoj k přípravě ploch.

Nejdříve se chystají plochy pro simulování výtažku v programu Autoform. Simulace se provádí nejenom z důvodu ověření platiny a k stanovení kontury obstříhu, ale zejména jestli je navržený díl lisovatelný, zda nedochází k porušení materiálu, k nadměrnému zvlnění, překládání atd. První se připraví plocha pro tah součásti – tzv. tahovka, která většinou již obsahuje nejdůležitější a nejsložitější tvar dílu. Je důležité, aby došlo k co největšímu přetvoření, které nám zajistí tvarové stálosti dílu. Pak se většinou zpracuje dotah, pomocí kterého díl dále tvarujeme. Do autoformu je ještě přidán konečný obrys dílu, aby vytvořil rozvin dílu a obstříhovou konturu, která zajišťuje, aby okraje dílu byly tam, kde je zákazník požaduje.

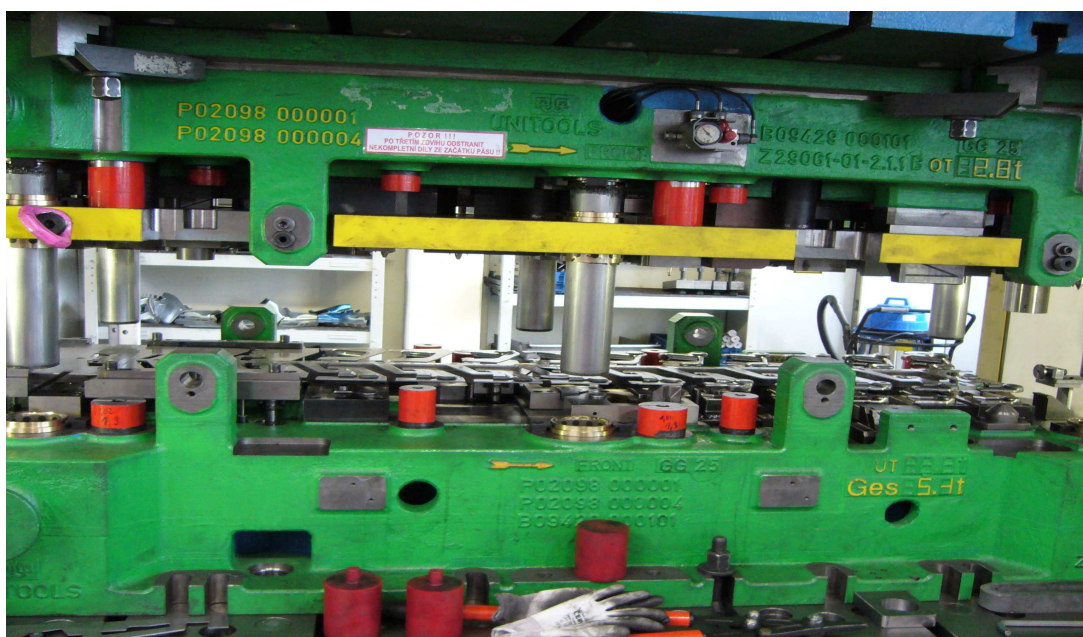
Pokud je simulace v pořádku, vytvoří se nejdříve plochy po operacích, které následovně použije konstruktér při vytváření lay-outu (postupu výroby) – viz příloha. Konstruktér díly po operacích v lay-outu umístí skutečně tak (o délku kroku), jak bude vytvořen nástroj. Vývoj dává tvar jednotlivým dílům, konstrukce dává tvar a funkčnost celému nástroji. Výstup z konstrukce – pohled na spodní půlku nástroje (zelená barva) i se stolem lisu (šedá barva):



obr. 15 Spodní polovina nástroje

Při kontrole lay-outu zákazníkem se schválí aktuální technologie, následně oddělení vývoje připraví finální plochy, které se zapracují do lisovacího nástroje. Při konstruování nástroje si konstruktér svolává konzultaci k nástroji, kde se můžou jednotlivé oddělení vyjádřit k nástroji a požadovat různé konstrukční úpravy. Po zpracování konstrukcí následuje technologie výroby, která na základě obdržených výkresů součástí nástroje a modelů mimo jiné stanovuje způsob a technologii opracování jednotlivých dílů v nástroji. Pak oddělení CAD-CAM, kde jsou na tvarové díly nachystány 3D obráběcí programy pro CNC stroje. Některé díly jsou po měkkém obrábění posílány na povrchové úpravy, jiné mohou být díky novým strojům obráběny i za tvrda.

Dalším krokem je montáž nástroje nástrojařem. Vše do sebe musí zapadat, protože v případě opomenutí nebo zanedbání hrozí kolize vrchního dílu se spodním, což může mít za následek poškození nástroje. Tomu se dá částečně předejít zkouškou na nečisto spuštěním nástroje do sebe pomocí jeřábu. Nástroj musí být složen bez vinutých a plynových pružin, protože by jinak nedošlo k sevření nástroje a dosednutí na hlavní dorazy. Po následném rozpůlení nástroje se kontroluje i to, zda šel v nástroji do sebe stříh, tzn. zda byla střížná vůle dobře vyrobena, popřípadě zda nedošlo k otupení dílů. Díly, které tváří plech musí být vyleštěny aby bylo zajištěno optimální tváření. Po namontování plynových pružin je možno nástroj odzkoušet pod zkušebním lisem. Obrázek je focený přímo v lisu, při lisování zkušebních vzorků.



obr. 16 Nástroj při zkoušce

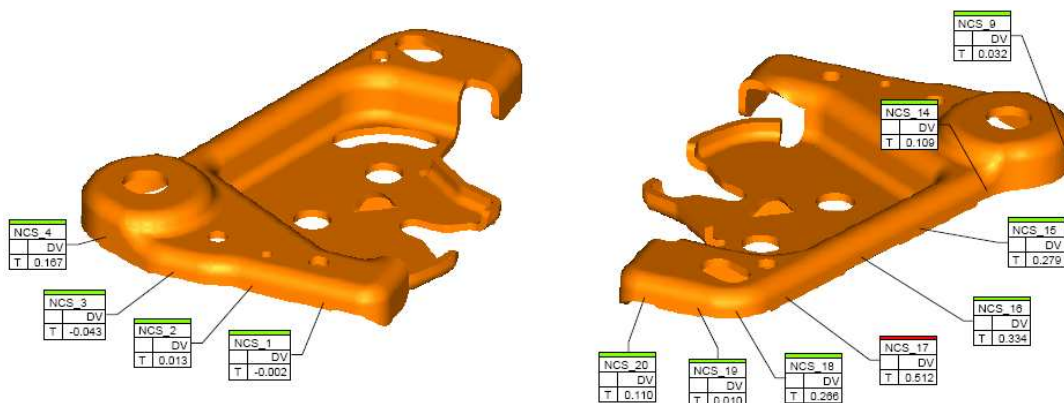


Po funkční zkoušce následuje tuširování nástroje, tzn. natře se plech speciální barvou. Proběhne vylisování plechu a pak nástrojař z tvarových dílů v nástroji, kde byla na plechu seštrněná barva postupným odebíráním materiálu docílí lepšího dosednutí požadovaného tvaru horního dílu proti spodnímu.



obr. 17 Tuširovací obraz

Po odlisování zkušebních kusů se díly předávají na oddělení jakosti, kde díly změří. Odchytky do plusu značí u ploch i hran na kraji vylisku, že je materiálu moc, je teda potřeba korekci dělat směrem do výtažku.



obr. 18 Náměry vylisku

V případě tvarových změn je vhodné vytvořit na díle scany (vytvoření skutečného profilu dílu), aby se dalo vyhodnotit, kde je potřeba na díle dělat změnu, popřípadě v které operaci se nám díl deformuje.

Následuje optimalizační porada svolána obchodníkem, kde se dohodne jakým způsobem budeme řešit další úpravy dílu a nástroje. Optimalizačních smyček bývá několik, záleží na

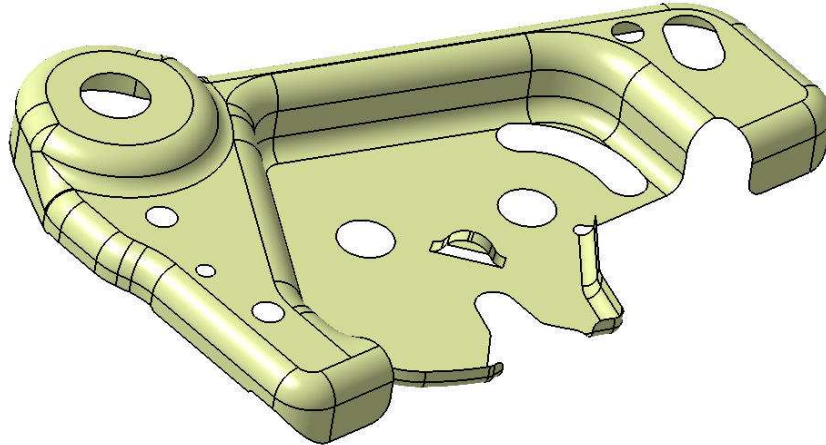
tolerancích plechu, složitosti výrobku, důležitým faktorem je také odpružení dílu.



obr. 19 Zkušební 600 tunový hydraulický lis

## 6 Technologie lisování výtažku

Tento díl slouží jako zámek dveří automobilů, při crash testech v automobilce se zámek nesmí porušit především proto, aby nedošlo k otevření dveří automobilu. Jakost plechu je proto vyšší, pro lisování ale tímhle vzniklo mnoho problémů, na jejichž odstranění se strávilo hodně času.



obr. 20 Výlisek

Tloušťka plechu je 2,5 mm, je vyráběn v postupovém nástroji společně s druhou součástí, nástroj je proto nazýván dvou-výpadovým.

Nástroj má 14 operací, v postupovém nástroji je možné operaci nazvat krokem :

1. operace : děrování hledáčku + obstřih
2. operace : obstřih
3. operace : obstřih + bezodpadové nastřížení
4. operace : předtah
5. operace : tah
6. operace : tvarování nahoru
7. operace : obstřih
8. operace : obstřih
9. operace : lemování dolů
10. operace : lemování nahoru

11. operace : děrování
12. operace : kalibrace
13. operace : kalibrace
14. operace : odstřih dílu a rozdělení můstku.

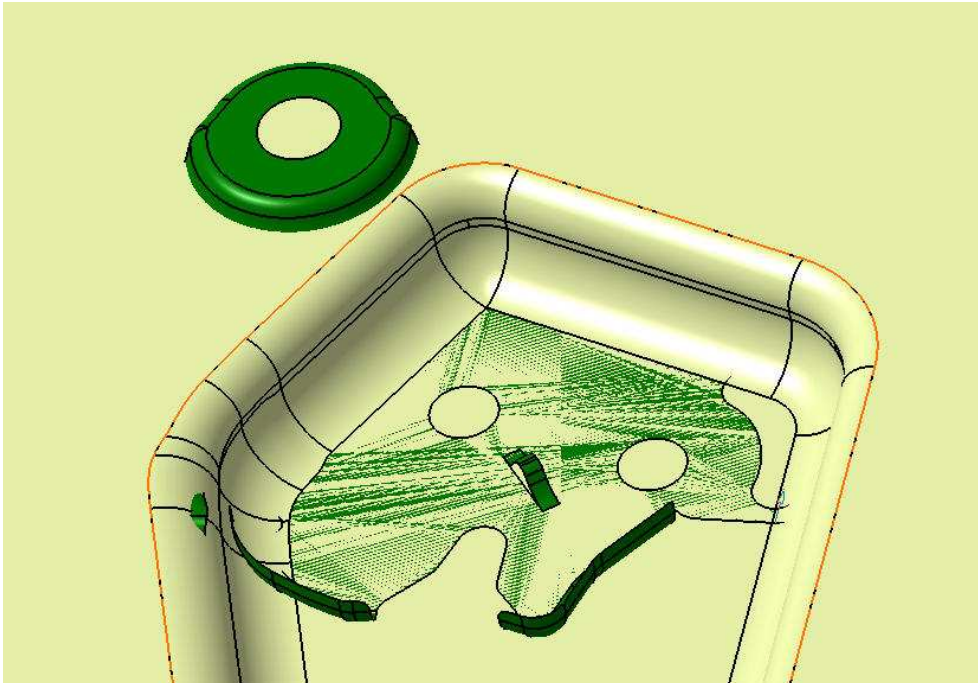
Pokud si zákazník přeje na dílech srážet hrany, mělo by následovat v nástroji nejlépe po obstřihu jako samostatná operace. Díl lépe vypadá, obsluha se nemůže o ostřiny na díle pořezat a zvětší se tím i pevnost samostatného dílu. Natržení např. při crash testech se šíří většinou od okraje. Srážení je vhodné pro tlustší plechy (více než 2mm).

## **6.1 Návrh tahových a tvarových ploch**

Z celkového počtu 14 operací se zaměřuji na ukázkou tvarových operací, tedy na znázornění předtahu, tahu, tvarování nahoru, lemování a kalibraci. V obrázcích zelená barva představuje hotový díl, tam kde je barva ploch smíšená, nachází se plochy přesně na sobě.

### **6.1.1 Předtah**

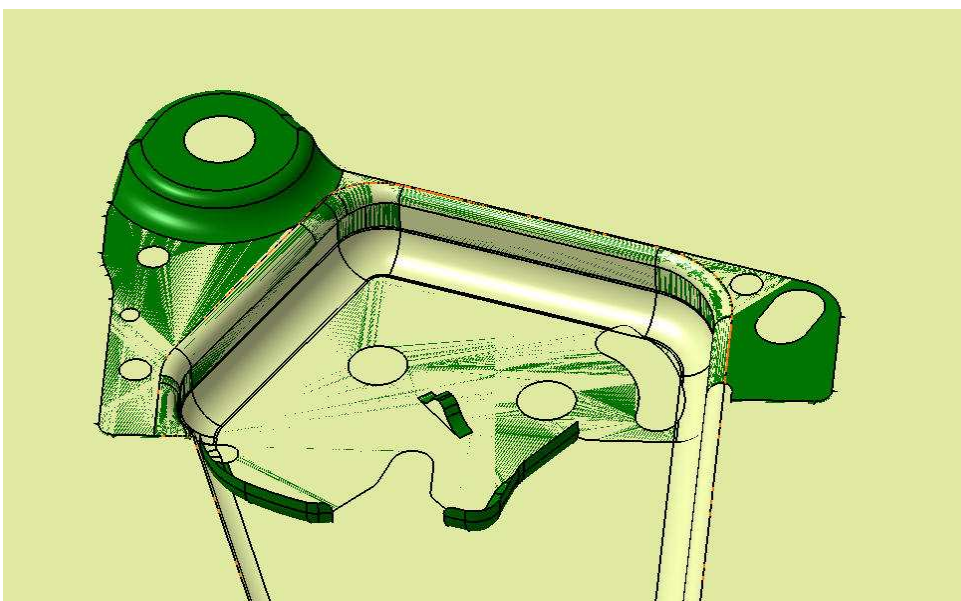
Na dvě operace (předtah a tah) se díl lisuje z důvodu lisovatelnosti dílu. Jeho mechanické vlastnosti a výsledek simulace nám neumožňuje díl vytvarovat v jedné operaci. Tvarujeme pomocí tažníku, tažnice a přidržovače tvar prostřední oblasti dílu, abychom v další operaci dokázali táhnout vnitřní tvar dílu nahotovo.



obr. 21 Předtah – spodní plocha tažnice

### 6.1.2 Tah

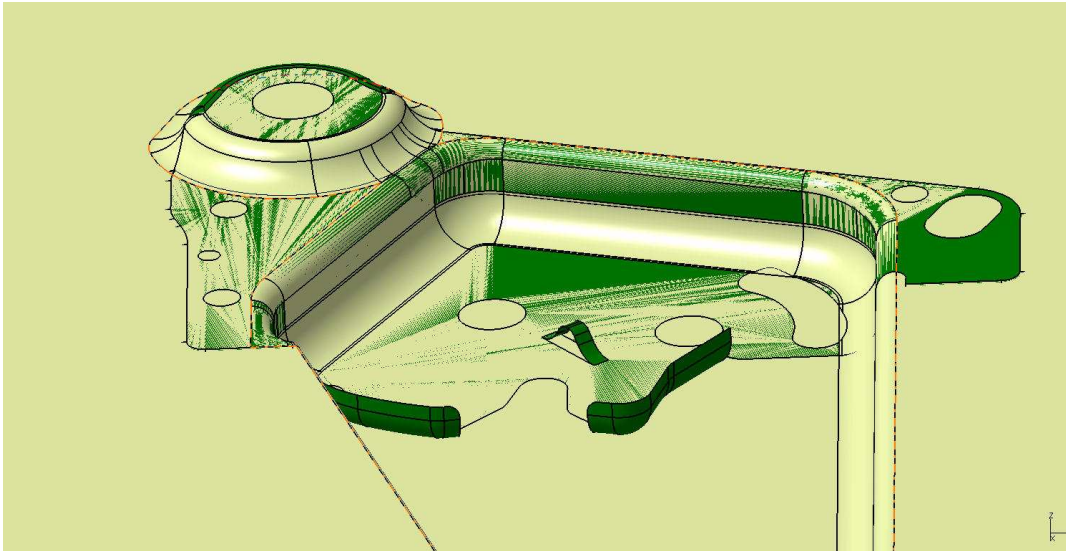
V druhém kroku přetvoříme boční stěny a rádius tvářeného dílu. Vnitřní část dílu je po této operaci hotová, zvětšený rádius už zůstane na součástce tak, jak je upraven v této operaci, je zvětšený v rámci tolerance. Pohled na spodní plochu – tažnici



obr. 22 Tah - spodní plocha

### 6.1.3 Tvarování nahoru

Na dalším obrázku je ukázaná plocha tvarování nahoru, vtlačujeme do dílu tvar, který nám již neovlivňuje plochy vytažené v předešlých operacích.



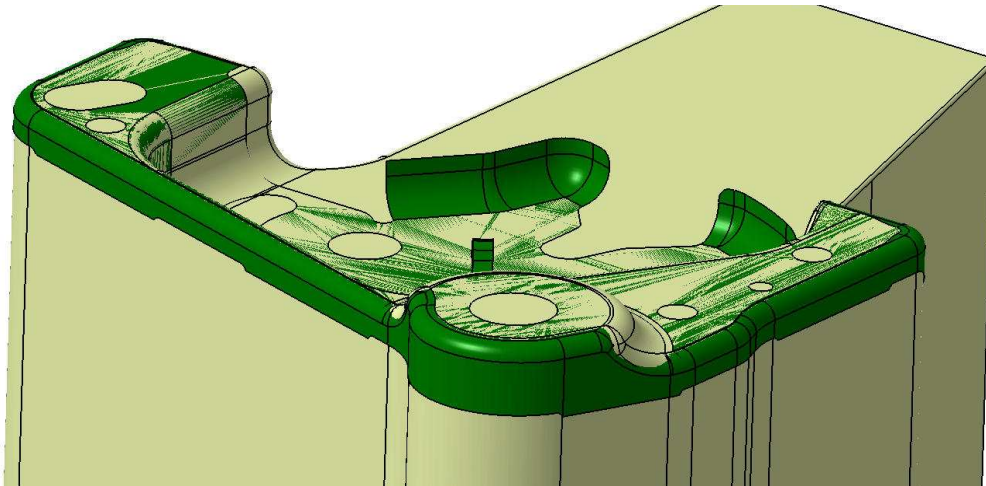
obr. 23 Tvarování nahoru

### 6.1.4 Lemování dolů

Před touto operací se již díl stříhá na hotovo ve směru lisování, po zalemování okrajů by bylo možné stříhat obvod dílu jen z boku pomocí klínové jednotky, ta je ovšem násobně dražší než stříh klasicky ve směru lisování. V této operaci je úkolem zalemovat boky součásti dolů. Spodní tvarovací vložka je většinou na místě, díl se na ni založí a ustaví.

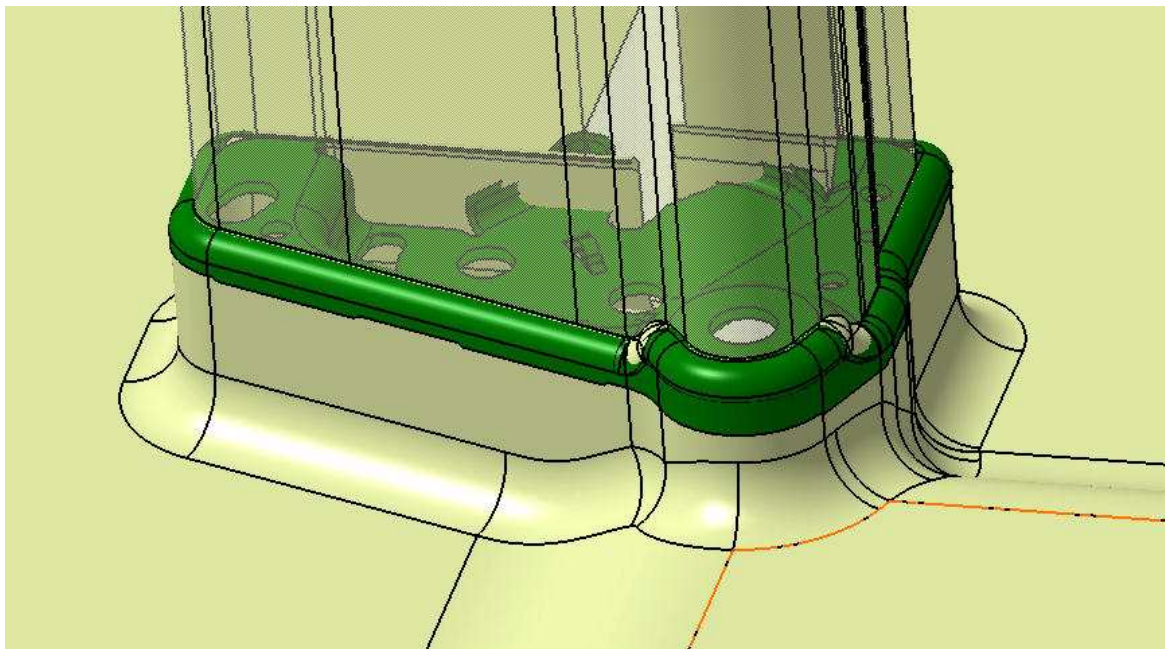
Barvy na stěnách součásti neproblikávají z důvodu přepružení ploch dovnitř dílu kvůli zpětnému odpružení plechu.





obr. 24 Lemování dolů – spodní lemovací vložky

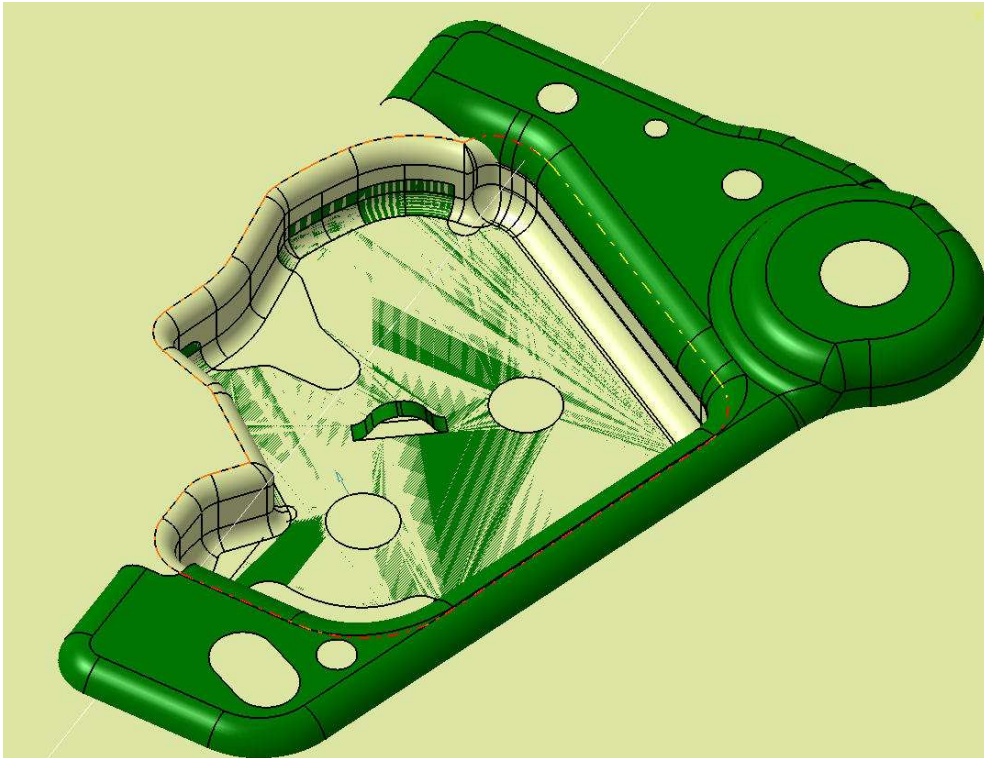
Ještě jednou lemování dolů, tentokrát pohled na horní lemovací vložky, které zhora sjíždějí a tvarují plech na spodní lemovací vložky. Dříve než se lemovací rádius (na obrázku je pod dílem) dotkne dílu a začne lemovat okraje tak je již díl přidržen zhora přidržovačem. Ten je umístěn uvnitř horních lemovacích vložek a tlačí nám díl ke spodní ploše. Síla přidržení je dána pružinami, většinou plynovými. Síla musí být dostatečná, aby se díl nepohyboval či nevtahoval k lemovacím vložkám.



obr. 25 Lemování dolů – horní lemovací vložky

### 6.1.5 Lemování nahoru

Je to obdoba lemování dolů, vše je ovšem naopak. Navíc je potřeba mít přesné vedení přídržovače ze spodu, na který se díl založí a který následně sjíždí dolů. V tomto případě je potřeba v konstrukci vhodnými kapsami odlehčit oblasti, které jsou již vytvarovány, aby nedocházelo k jejich deformaci.

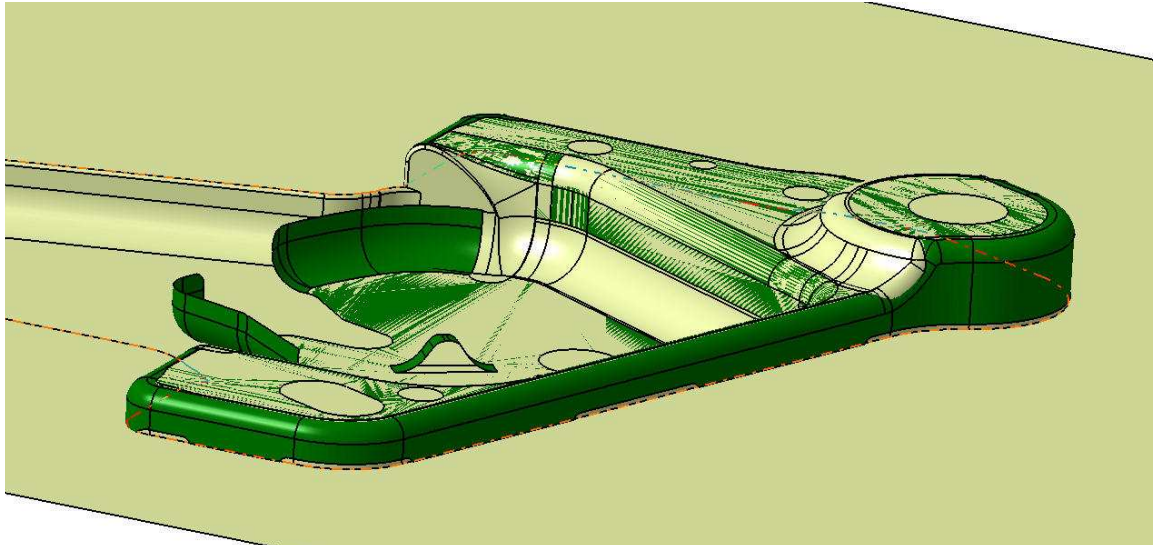


obr. 26 Lemování nahoru – horní plocha

### 6.1.6 Kalibrace

Nejenom že přerovnááme dosedací plochy, ale v tomhle případě kalibrujeme i okraje dílu. V téhle operaci je možno dodatečně ovlivňovat náměry dílu, nemusíme tak měnit předešlé operace. Pokud jsou náměry součásti dobré i bez kalibrace, může se vynechat a kalibrační součásti z nástroje vymontovat.





obr. 27 Kalibrace dílu – spodní plocha

## 7 Simulace tažení výtažku

Simulaci tažení výtažku jsem provedl v softwaru AutoForm. Tento software patří mezi programy, které pracují na principu konečných prvků (Finite Element Metod – dále jen FEM). Na obrázcích níže představuji vyhodnocení lisovatelnosti plechů (formability). V příloze této bakalářské práce naleznete kompletní výstup z AutoFormu.

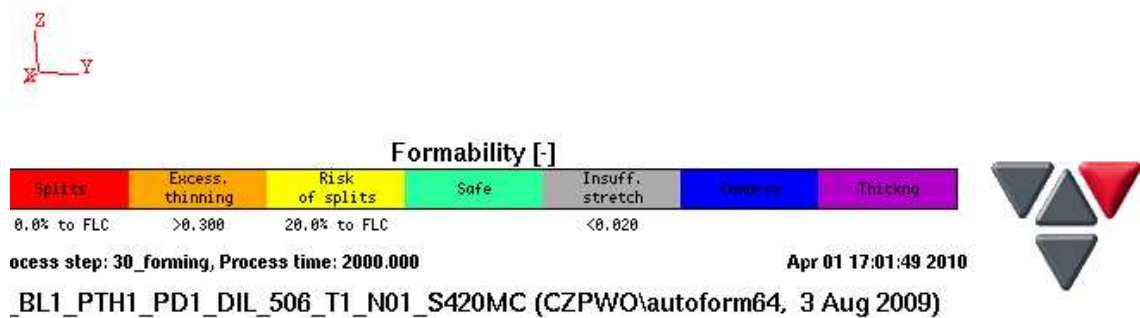
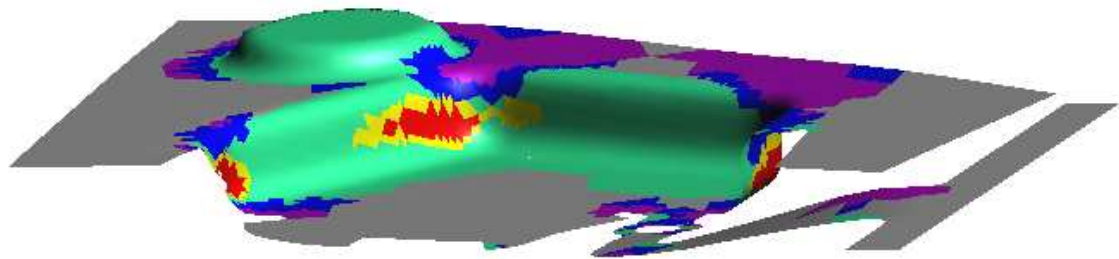
V tabulce jsou znázorněny barevné významy analýzy lisovatelnosti.

Název	Význam
Splits	roztržení materiálu
Excess thinning	přemíra ztenčení materiálu
Risk of splits	riziko roztržení plechu
Safe	bezpečně přetvořený materiál
Instuff stretch	nepřetvořený materiál
Compress	stlačení materiálu
Thickening	pěchování materiálu

Tab.1 – významy analýzy lisovatelnosti

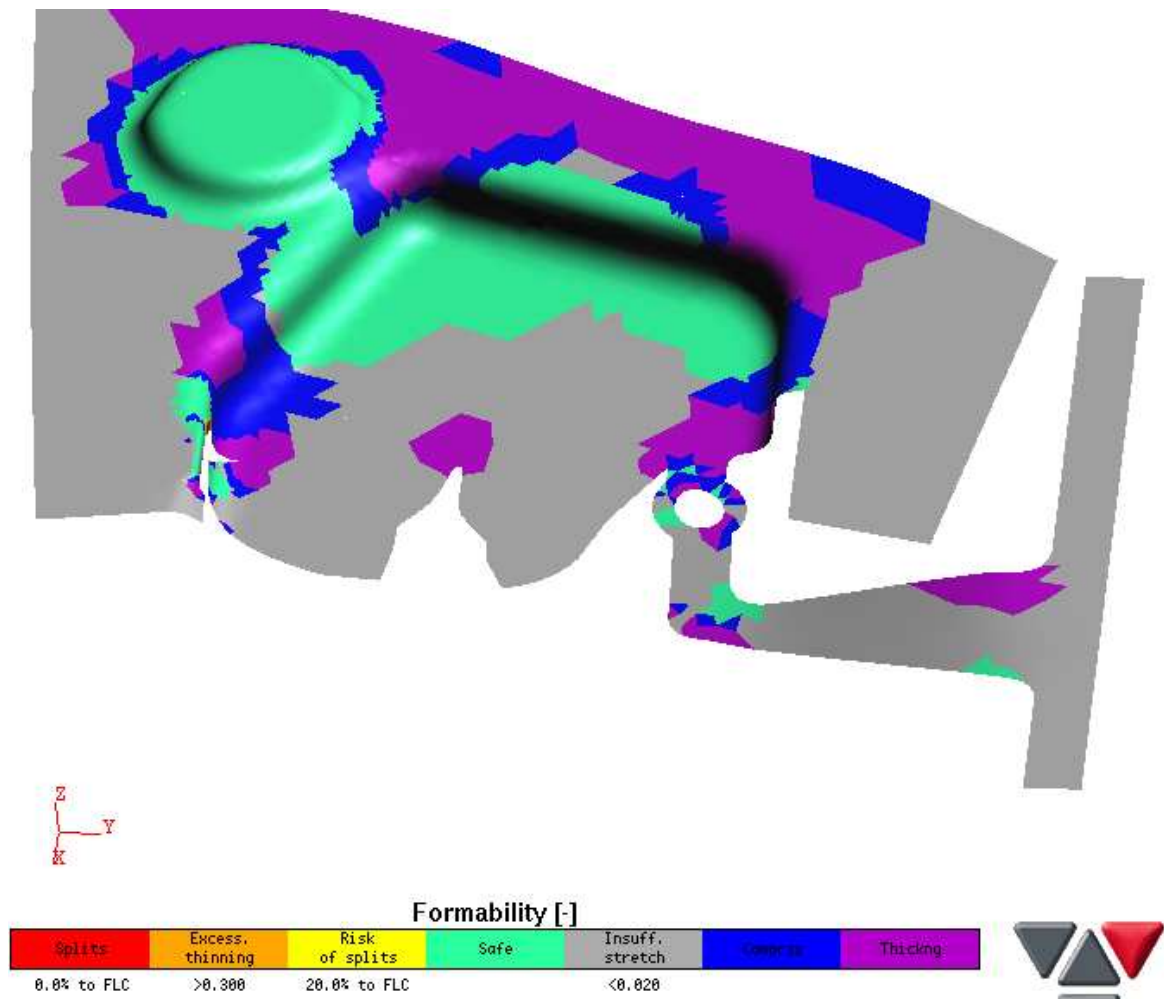
Pokud se plech při tažení ztenčí nad určitou kritickou hranici (většinou to bývá hodnota okolo 30 % tloušťky plechu) dojde většinou v tomhle místě k prasknutí výtažku.

Na prvním obrázku je zřetelné porušení dílu natržením na třech místech (červená barva). Jedná se o jednu z prvních variant simulace ploch.



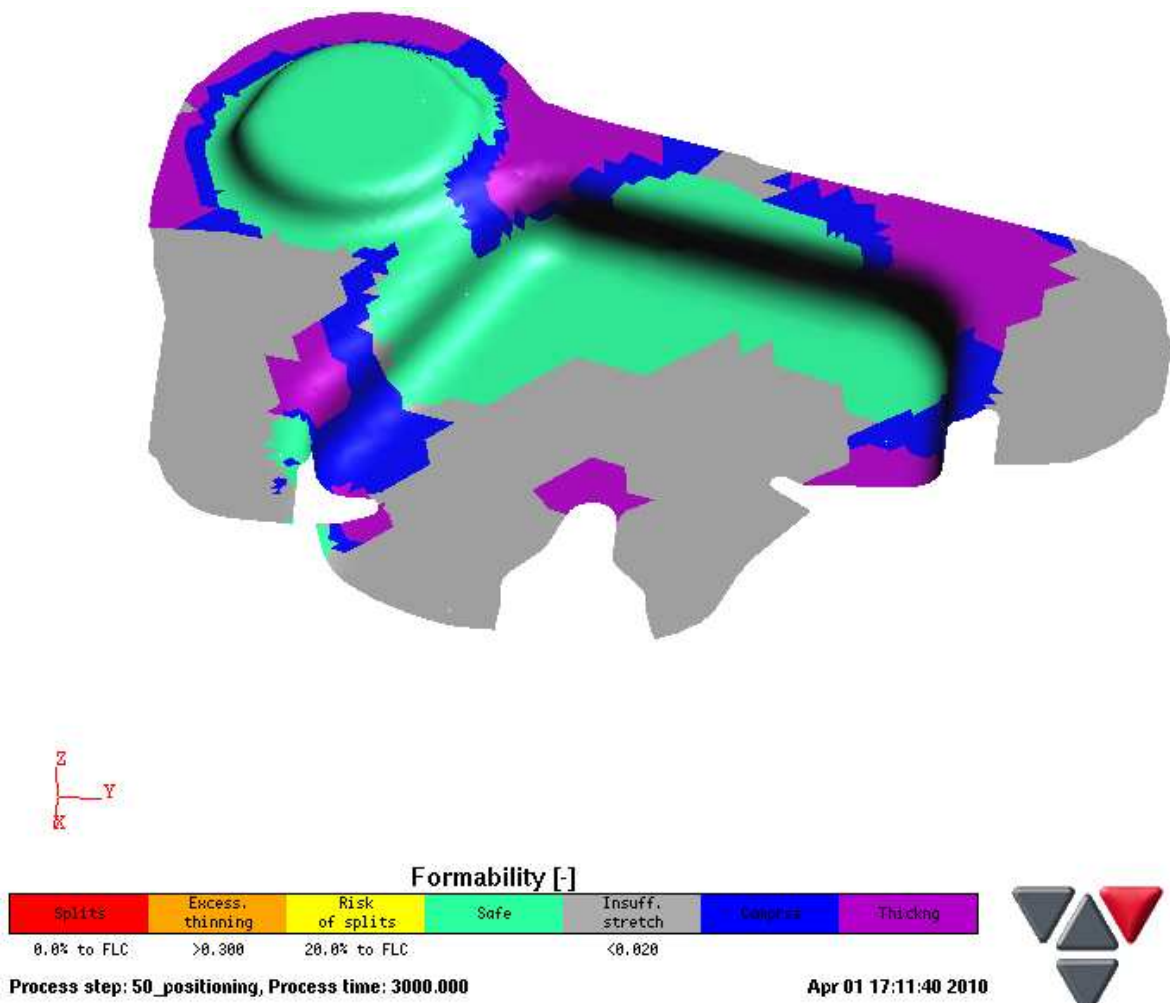
obr. 28 První simulace výtažku

Simulace po konečné úpravě tvarovacích ploch - obsahující předtah, tah a tvarování nahoru, aby se plech lépe tvářel, vtahoval a aby nedošlo k porušení. Lze si všimnout převážně zelené barvy, která je definována jako bezpečná přetvořená oblast. Jaké úpravy byly provedeny na jednotlivých plochách bude ukázáno v další části této práce.



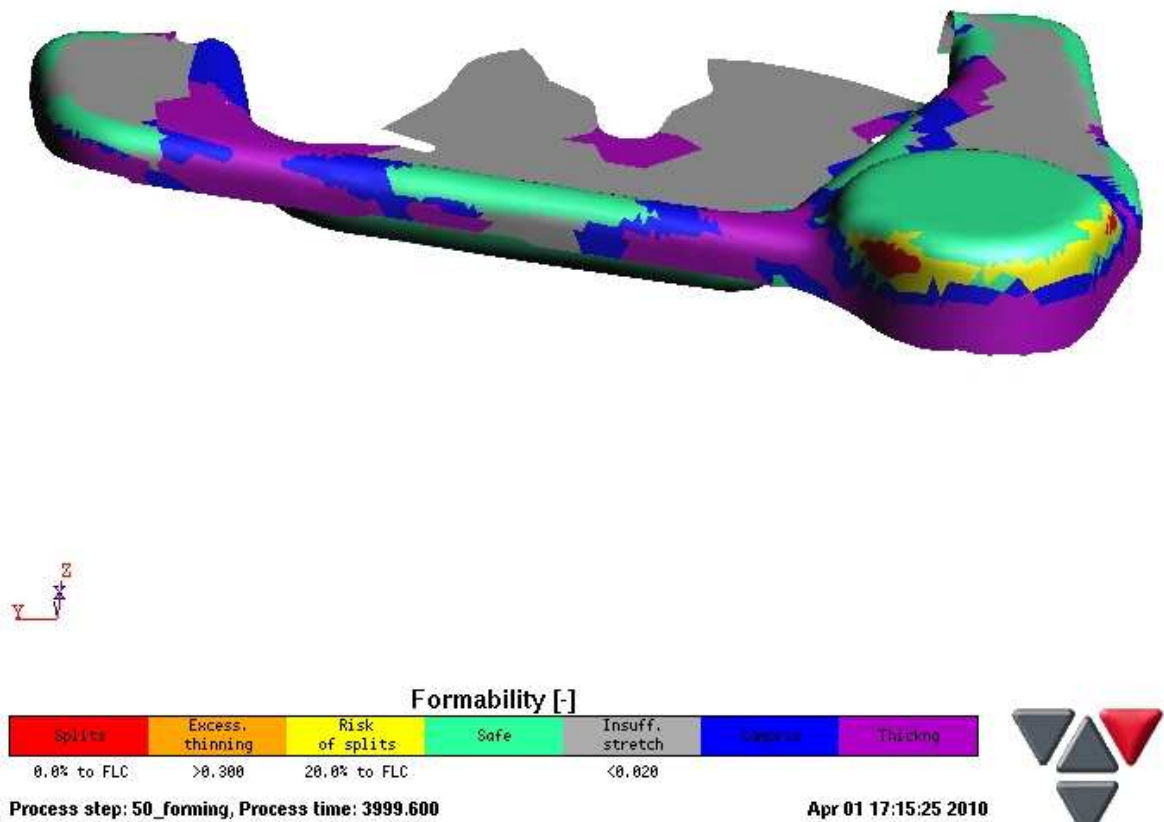
obr. 29 Odladěná simulace výtažku před obstřihem

Na následujícím obrázku vidíme obstřih dílu přímo v softwaru autoform. Tato funkce je zvláště důležitá pro určení okraje dílu. Bez odsimulování obstřihu by bylo velmi pracné a ne příliš přesné určit, kde se musí díl obstříhnout, aby byl obvod dílu po následném dotahu tam, kde ho zákazník potřebuje. Plech se totiž jinak vtahuje na rovných částech, jinak u rádiusů, proto je použití kvalitního softwaru v dnešní době nutností.



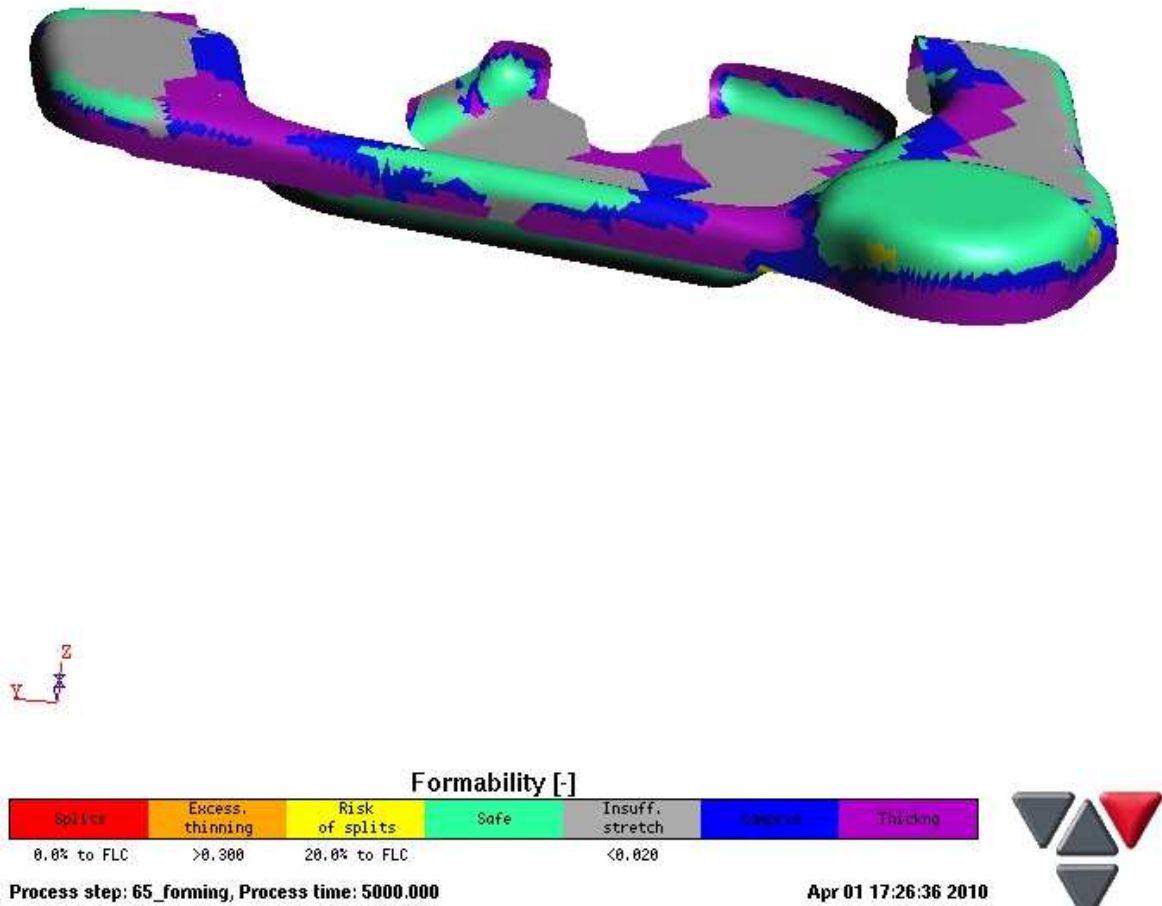
obr. 30 Simulace po obstřihu

Díl se nejdříve odladil před lemováním, aby se zkrátil čas potřebný na výpočet. Na dalším obrázku v simulaci jsou navíc znázorněny plochy pro dotah součásti, tzv. lemování dolů. Opět se nám objevila červená barva značící natržení součásti.



obr. 31 Simulace výtažku po lemování dolů

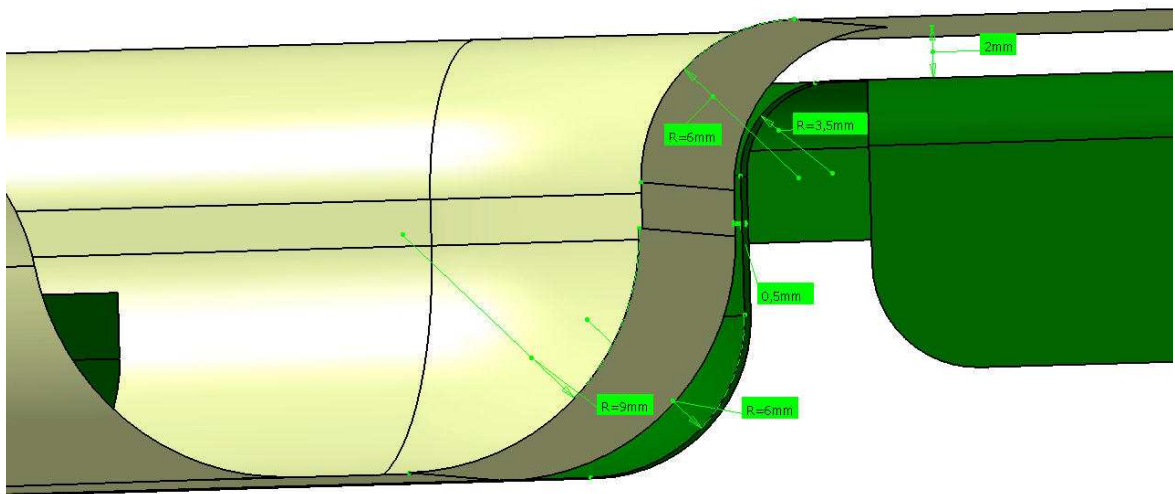
Po úpravách v plochách lemovacích vložek jsou vidět ještě náznaky rizika natržení, nicméně riziko je podstatně menší oproti předchozí verzi.



obr. 32 Odladěná simulace výtažku

## 8 Úpravy ploch a kritických rozměrů

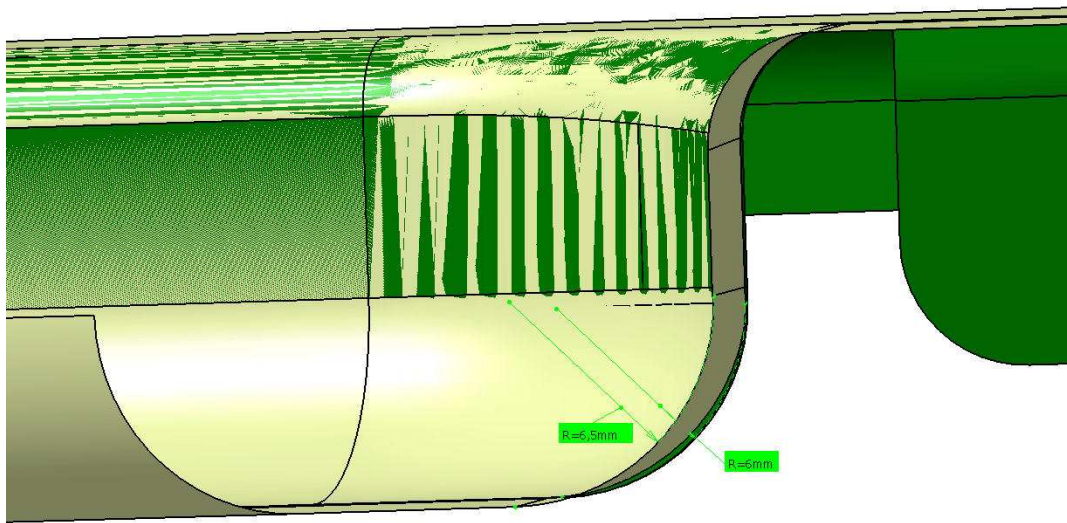
Odladění předtahu se provádělo díky simulaci lisovatelnosti, která ukázala že dochází k porušování materiálu. Hlavní úprava byla ve zvětšení tažných rádius, které mají největší vliv na přetvoření plechu. Platí čím větší tažný rádius, tím menší ztenčení. Na obrázku jsem změřil tažné rádiusy aby bylo vidět kde a jakým způsobem docházelo k úpravám, které jsou zapracovány v nástroji. Zvednutá plocha o 2 mm (vpravo nahoře) je proto, aby při zostření rádiusů nedocházelo ke zkrácení vláken v dílu.



obr. 33 Odladění předtahu

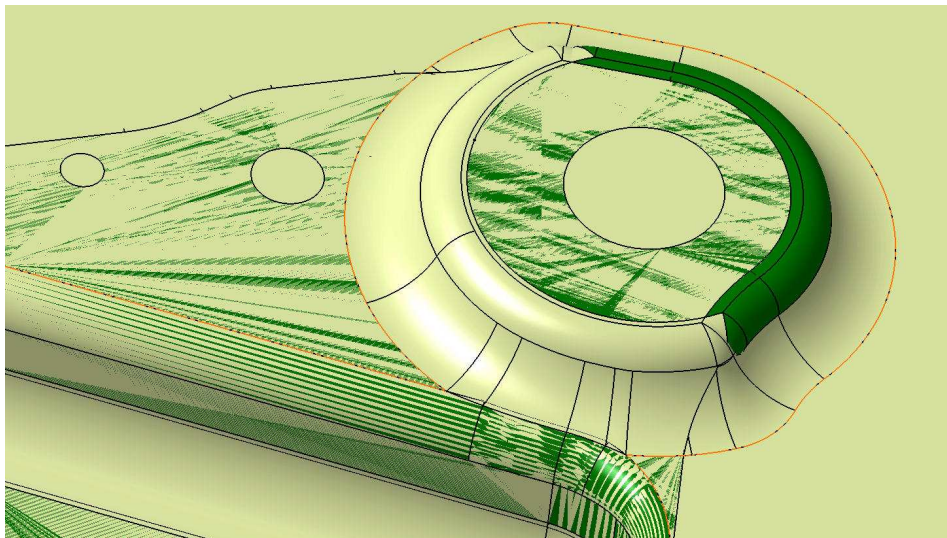
V tahu je zvětšen pouze spodní tažný rádius, který je zvětšený o toleranci dílu, nemusí se v dalších operacích zostřovat, povolený rádius je však potřeba zapracovat do všech dalších operací aby nedošlo k jeho vyostření a s tím možnost negativní deformace dílu.



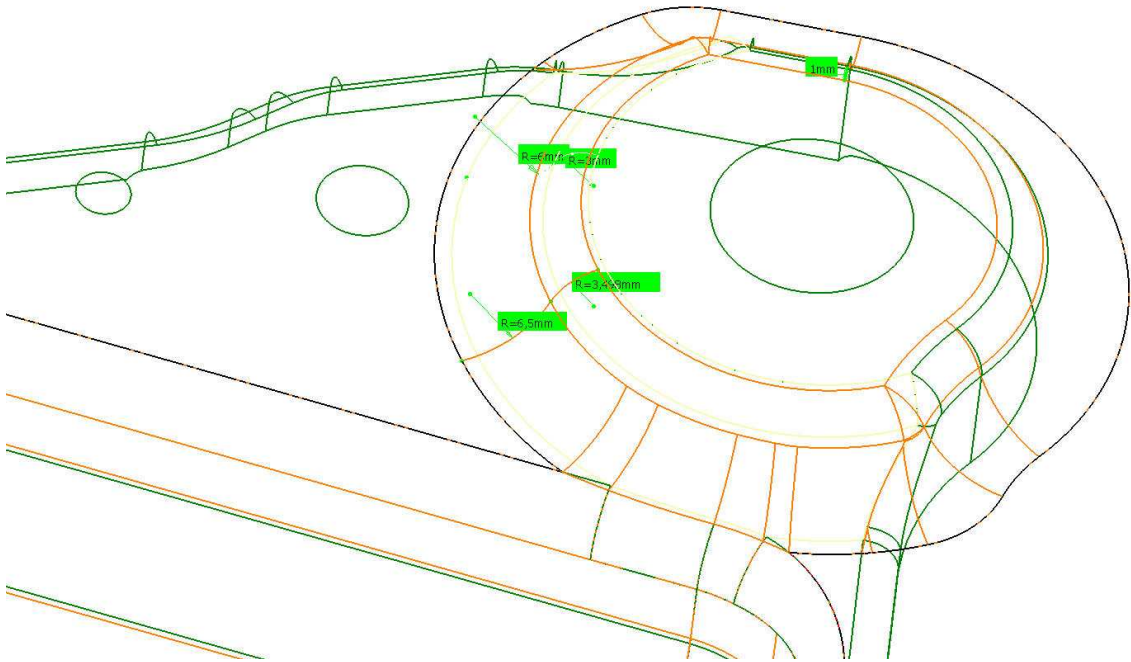


obr. 34 Odladění tahu

Dotah nahoru, vystínovaný obrázek a dole pod ním drátový model pro lepší zobrazení zakřivených zvětšených rádiusů.

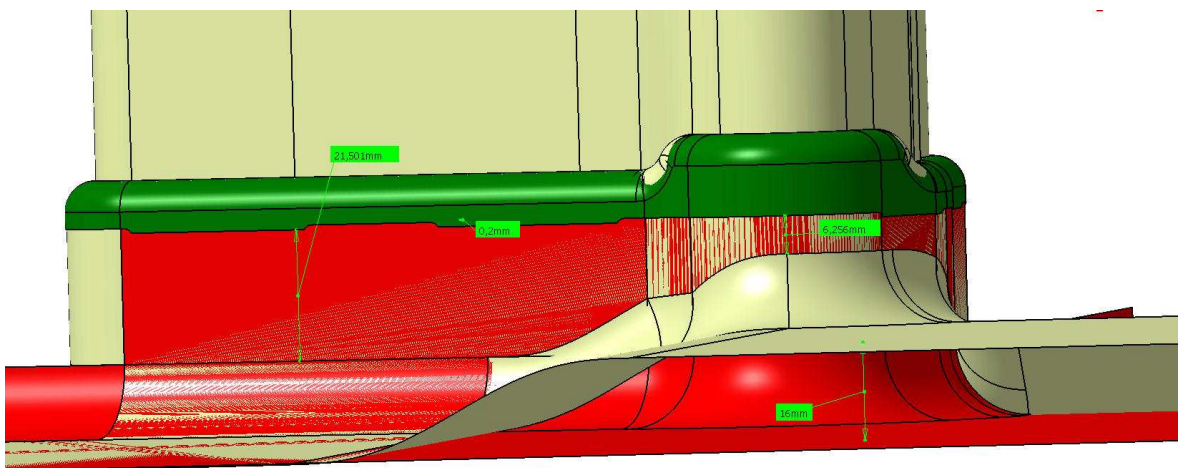


obr. 35 Odladění tvarování nahoru – stínovaný model



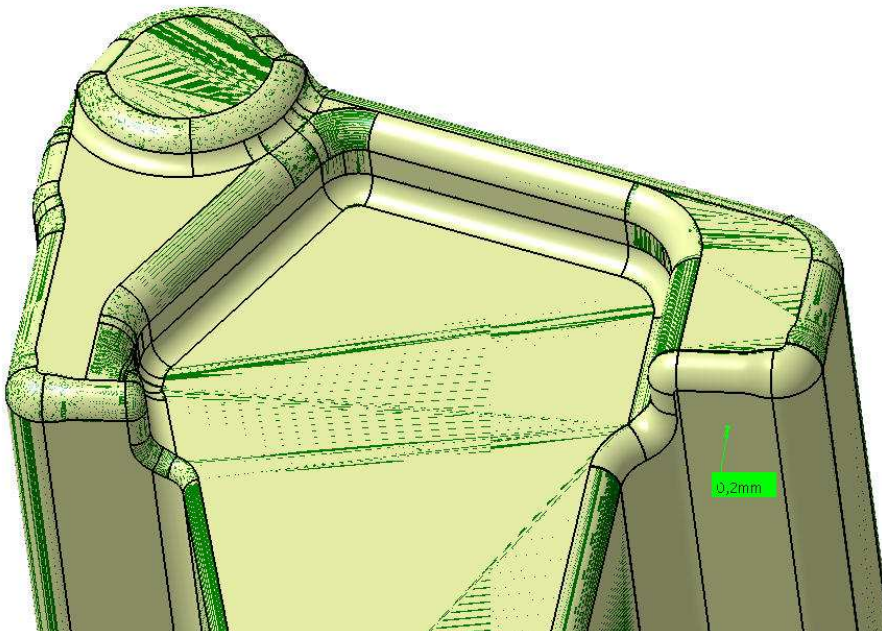
obr. 36 Odladění tvarování nahoru – drátový model

Následuje zobrazení upravené plochy lemování dolů, díky ní již nedochází k porušení materiálu na horním tvaru dílu. Je použit princip postupného lemování, kdy vhodným tvarem cíleně vtláčujeme tvářený materiál do problémových míst. Pro názornost jsem do obrázku přidal původní tvar lemovací vložky – červená barva.



obr. 37 Upravené horní lemovací vložky

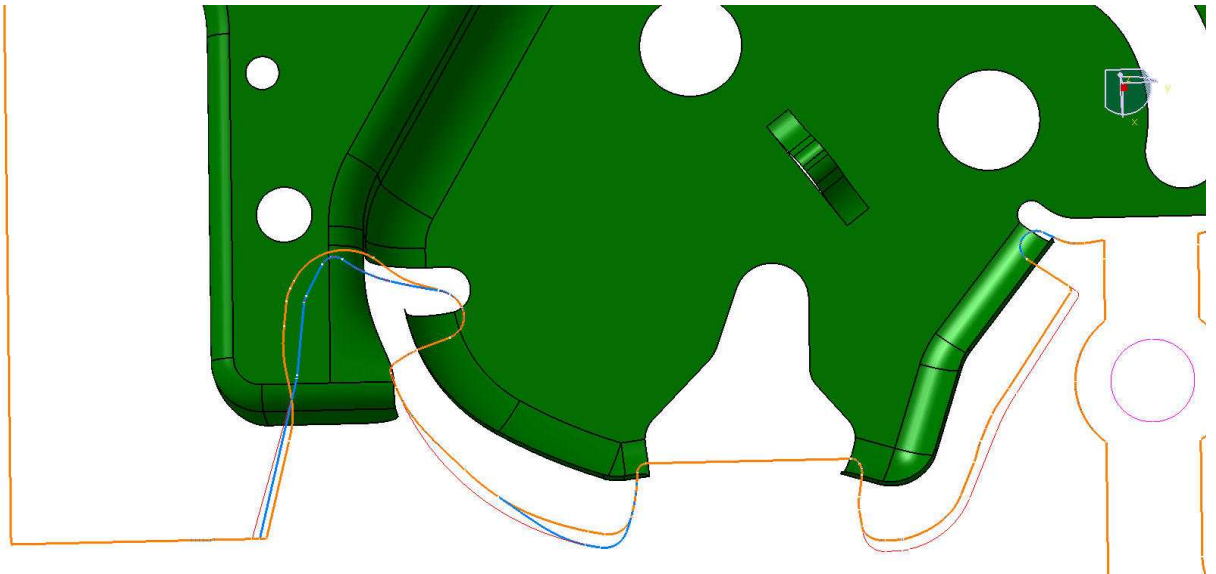
Na následujících obrázcích je vidět, kde byly provedeny změny až po zkouškách, které se týkají tvarových úprav. Na obrázku spodního dílu lemování dolů je zobrazena lokální změna na boku součásti z důvodu špatných náměrů. Na spodním díle je v tomhle případě nejlevnější řešení navařit danou oblast a znova přeobrobit, pokud by se navařovalo na velké ploše, popřípadě by hrozilo, že návar může deformovat součást, jde úprava řešit podložením součásti, popřípadě se může vyfrézovat kapsa, kde se následně vsadí nová vložka a vše se znova přeobrobí. V této oblasti se dělala změna i na horním díle, aby byla zachována tažná vůle mezi spodní a horní plochou. Horní vložka by šla povolit i nástrojařsky ručně, což by bylo levnější řešení, vznikla by ale větší tažná vůle, hrozilo by, že se součást může začít deformovat a vlnit.



obr. 38 Změna tvaru lemovacích vložek

Na dalším obrázku jde vidět odladění ostříhu na hotovo před tvarováním. Konečná ostříhová kontura má oranžovou barvu, úpravy se provádějí na základě náměrů na měřících protokolech. Pokud je náměr v plusu, znamená to, že kontury přebývá a je potřeba upravit konturu směrem dovnitř = ke středu součásti.





obr. 39 Změna obstřihové kontury

Úprava obstřihové kontury se nejčastěji dělá navařením na součást (střižník, střižnice), kde je potřeba přidat materiál, a následným znovu obrobením. Na proti kuse se materiál odebere, aby došlo k obnově střižné vůle. Nevýhodou obstřihu dílu před tvarováním je, že se tvarováním následně kontura různě vtahuje, a proto korekce nebývá přesná. Někdy dochází k více změnám na stejné oblasti a tím vznikají také více náklady, které prodražují nástroj.

Po odlisování prvních vzorků docházelo k praskání dílu od kontury, praskání se odstranilo ručním pobráním a znovu přešetřením tažného rádiusu na tažníku a tažnici a korekcí obstřihu – ubráním ze střižné kontury.



obr. 40 Natržení dílu po odlisování

## ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo seznámení s technologií výroby lisovaných součástí, ukázka návrhu tvarových ploch, simulace lisovatelnosti zámku dveří automobilu a odladění kritických rozměrů.

Teoretická část mé práce je zaměřena na technologii tváření a detailně Vás seznámí především s technologií stříhání a tažení. Dále obsahuje proces, jak se z poptávky, kterou obdrží firma PWO Unitools CZ a.s. od zákazníka, stane lisovací nástroj. V další části je představena technologie výroby dané součásti – zámku dveří automobilu. Technologie lisování obsahuje postupně např. takové operace jako předtah, tah, tvarování nahoru, obstřih a lemování neboli dotah. Tyto tvarovací operace ve formě návrhu ploch byly skutečně použity v lisovacím nástroji při tváření plechu. Další části práce se věnují ukázkám ze simulace v programu Autoform. Obrázky ze simulace lisovatelnosti plechu ze začátku ukazují červenou barvou natržení součásti. Pak je vhodnými úpravami ploch, např. zvětšením tažných rádius a úpravou tvaru lemování, díky čemuž se postupně materiál vtlačel do kritických míst výtažku, dosaženo bezpečně přetvořené oblasti. Předvýrobní fáze úprav ploch byla tedy odladěna pomocí simulace, v závěru práce je také zmíněno, k jakým úpravám docházelo po zkouškách v rámci odladění finálního nástroje.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] FOREJT, Milan. Teorie tváření. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 167 s. ISBN 80-214-2764-7
- [2] DVOŘÁK, Milan, GAJDOŠ, František, NOVOTNÝ, Karel. Technologie tváření: Plošné a objemové tváření. 4. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7
- [3] NOVOTNÝ, Josef, LANGER Zdeněk. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1. vyd. Praha, 1980. 216 s.
- [4] BOBČÍK, Ladislav. Střížné nástroje pro malosériovou výrobu. 1. vyd. Praha, 1983. 216 s.
- [5] LENFELD, Petr. Technologie II. 1.vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005. 110s. ISBN 80-7372-020-5
- [6] NOVOTNÝ, Karel, MACHÁČEK, Zdeněk. Speciální technologie I: Plošné a objemové tváření. 2.vyd. Brno: Nakladatelství VUT, 1992. 171 s. ISBN 80-214-0404-3
- [7] Metal Forming Handbook. Schuler. 1.st edition. Berlin : Springer-Verlag, 1998. 563 s. ISBN 3-540-61185-1
- [8] Bareš, Karel, et al. Lisování. Redaktor Jindřich Klůna, 1. vyd Praha: SNTL, 1971. 544s. ISBN 04-234-71

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

CAM Computer-aided manufacturing (počítačová podpora obrábění)

CNC Computer numeric control. (číslicové řízení počítačem)

CAD Computer-aided design (2D a 3D projektování)

FEM Metoda konečných prvků

3D Trojrozměrný

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

obr. 1 Střížný proces a jeho fáze .....	17
obr. 2 Průběh střížné síly .....	18
obr. 3 Střížná vůle .....	19
obr. 4 Střížná plocha .....	21
obr. 5 Tažení .....	22
obr. 6 Tažení se stenčením tažné nezery .....	24
obr. 7 Zpětné tažení .....	24
obr. 8 Protahování .....	25
obr. 9 Rozšiřování .....	25
obr. 10 Zužování .....	26
obr. 11 Přetahování .....	26
obr. 12 Tažnice – nerotační tvary .....	27
obr. 13 PWO Unitools CZ a.s. ....	29
obr. 14 Vylisovaný pás .....	30
obr. 15 Spodní polovina nástroje .....	31
obr. 16 Nástroj při zkoušce .....	32
obr. 17 Tuširovací obraz .....	33
obr. 18 Náměry výlisku .....	33
obr. 19 Zkušební 600 tunový hydraulický lis .....	34
obr. 20 Výlisek .....	35
obr. 21 Předtah – spodní plocha tažnice .....	37
obr. 22 Tah - spodní plocha .....	37
obr. 23 Tvarování nahoru .....	38
obr. 24 Lemování dolů – spodní lemovací vložky .....	39
obr. 25 Lemování dolů – horní lemovací vložky .....	39
obr. 26 Lemování nahoru – horní plocha .....	40
obr. 27 Kalibrace dílu – spodní plocha .....	41
obr. 28 První simulace výtažku .....	43
obr. 29 Odladěná simulace výtažku před obstřihem .....	44
obr. 30 Simulace po obstřihu .....	45
obr. 31 Simulace výtažku po lemování dolů .....	46



---

obr. 32 Odladěná simulace výtažku .....	47
obr. 33 Odladění předtahu.....	48
obr. 34 Odladění tahu.....	49
obr. 35 Odladění tvarování nahoru – stínovaný model.....	49
obr. 36 Odladění tvarování nahoru – drátový model .....	50
obr. 37 Upravené horní lemovací vložky.....	50
obr. 38 Změna tvaru lemovacích vložek.....	51
obr. 39 Změna obstřihové kontury.....	52
obr. 40 Natržení dílu po odlisování .....	52

## SEZNAM TABULEK

Tab.1 – významy analýzy lisovatelnosti

## SEZNAM PŘÍLOH

### **Přílohy za textem práce:**

Příloha P I: Protokol simulace tažení

### **Přílohy v kapse práce:**

Příloha P II: Technologický plán lisování,

Příloha P III: Výkres dílu zámku automobilu č. 70027009

# PŘÍLOHA P I: PROTOKOL SIMULACE TAŽENÍ

Název dílu: 70027009

## PROTOKOL SIMULACE TAŽENÍ

List:

1

Počet listů:

10

Název simulace:

6\_BL3\_TRM\_UPR\_PRO\_ODL\_OBST\_PP1\_PTH1\_PD1\_CUT1\_TRM\_PL1\_13\_PL12\_1\_DL\_506\_T1\_N05\_S420MC\_OVERENI\_VYKUSU\_DATsim

Protokol číslo: 1

### Obecné informace a základní informace o dílu

Vstupní data:

Materiál: S420 MC

Tloušťka plechu: 2.500 mm

Velikost platin: 376 x 123 mm

Název technologické plochy: PL\_1\_1.igs


Technologické plochy ze dne:

Datum výpočtu: 2009/09/11

Výpočet provedl: Jan Grygar

Simulační software: AutoForm plus R1

Poznámka:



### Základní informace o simulaci

Nástřih:	Obdélník	<input type="checkbox"/>	Lichoběžník	<input type="checkbox"/>	Oblouk	<input type="checkbox"/>	Tvar	<input checked="" type="checkbox"/>
Nulová míra:	Tažník	<input type="checkbox"/>	Matrice	<input checked="" type="checkbox"/>				
Způsob tažení:	Jednočinný	<input type="checkbox"/>	Dvojitý	<input checked="" type="checkbox"/>				
Přidržovač:	Vnější	<input checked="" type="checkbox"/>	Vnitřní	<input type="checkbox"/>				
Teoretická síla	20 kN		kN					
Hloubka tahu	16,75 mm		mm					
Teoretická tažná síla:	100 kN							

Brzdicí listy:

0



# PROTOKOL SIMULACE TAŽENÍ

Název dílu: 70027009

List:

2

Počet listů:

10

Název simulace:

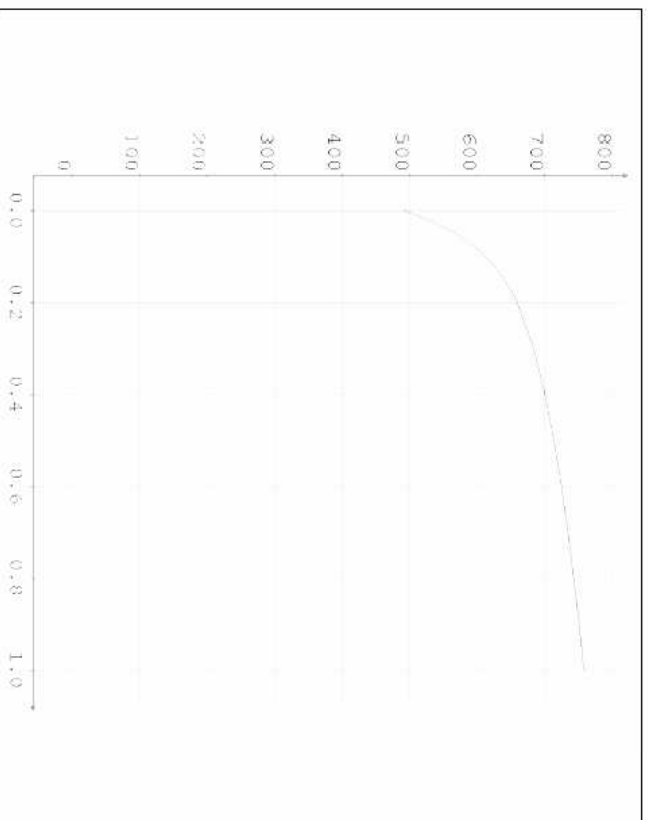
6\_BI3\_TRM\_UPR\_PRO\_ODL\_OBST\_PP1\_PTH1\_PD1\_CUT1\_TRM\_PL1\_13\_PL2\_1\_DL\_506\_T1\_N05\_S420MC\_OVERENI\_VYKUSU\_DATsim

Protokol číslo: 1

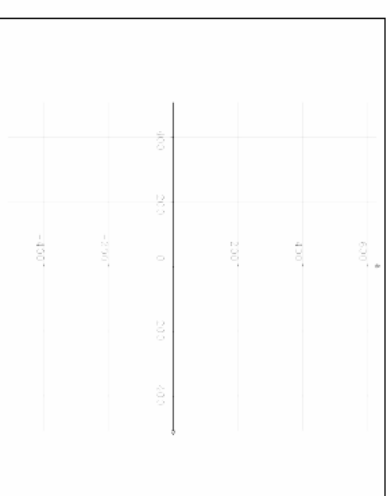
## Vlastnosti použitého materiálu

Material:	S420MC	Tloušťka	2.500
Yield stress [N/mm <sup>2</sup> ]	490.698	Tensile strenght [Mpa]	553.949

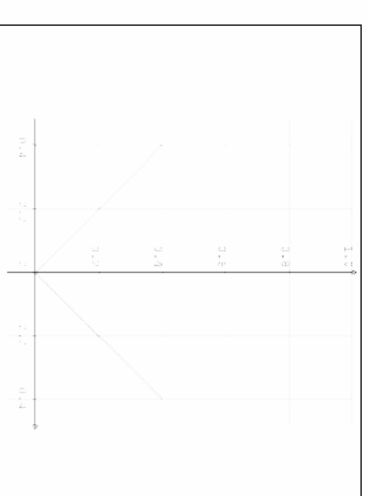
Yield curve approximation:



Yield curve:



Forming limit diagram:



## PROTOKOL SIMULACE TAŽENÍ

Název dílu: 70027009

List:

3

Počet listů:

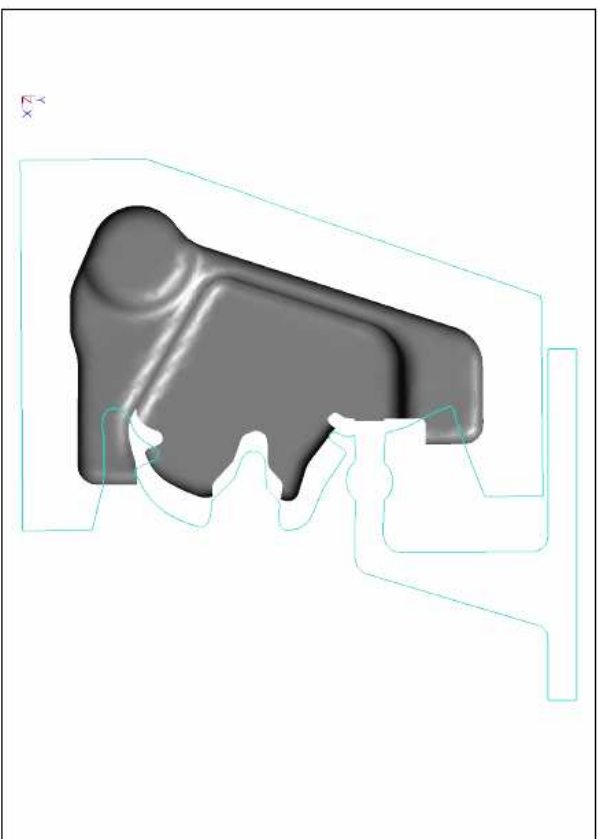
10

Název simulace:

6\_BL3\_TRM\_UPR\_PRO\_ODL\_OBST\_PP1\_PTH1\_PD1\_CUT1\_TRM\_PL1\_13\_PL2\_1\_DL\_506\_T1\_N05\_S420MC\_OVERENI\_VYKUSU\_DATsim

Protokol číslo:1

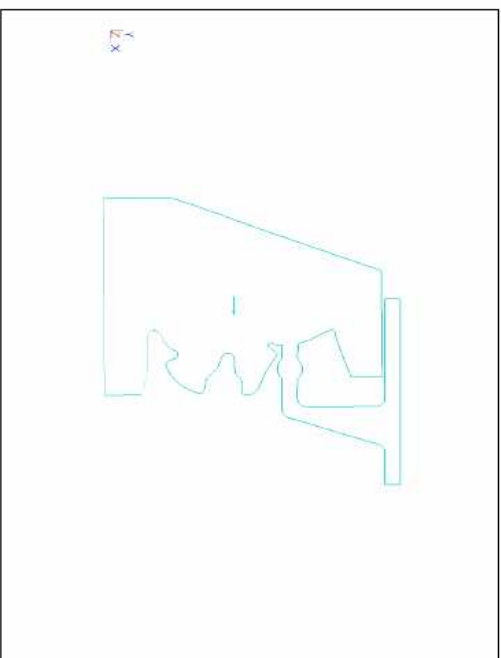
### Umístění brzdových listů na platině



**Směr průchodu listem**



### Směr válcování materiálu



### Přehled brzdových koeficientů

Taženo bez brzdy	0
Slabě bržděno	0,15
Středně bržděno	0,35
Silně bržděno	0,9
Zamknuto	2

# PROTOKOL SIMULACE TAŽENÍ

Název dílu: 70027009

List:

4

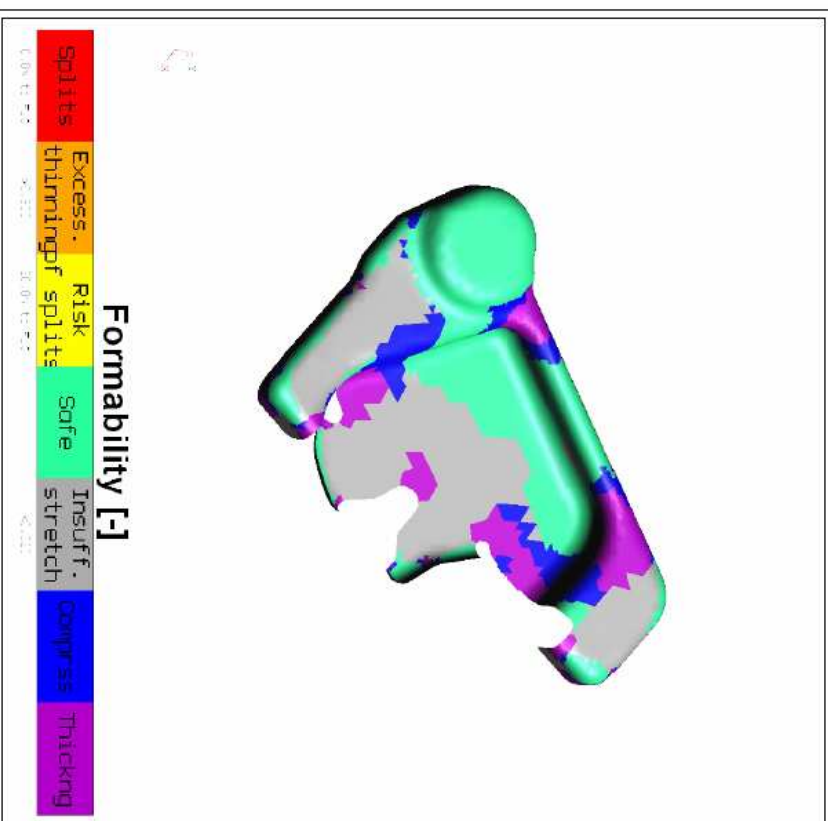
Počet listů:

10

Název simulace:  
6\_BL3\_TRM\_UPR\_PRO\_ODL\_OBST\_PP1\_PTH1\_PD1\_CUT1\_TRM\_PL1\_13\_PL2\_1\_DL\_506\_T1\_N05\_S420MC\_OVERENI\_VYKUSU\_DATsim

Protokol číslo: 1

## Souhrn výsledků simulace



## Zhodnocení lisovatelnosti

### Souhrnné hodnocení



Hodnoty

Tvářitelnost



Ztenčení



Porušení



Zvlhnutí



Diskuze výsledků:

-0,239

0,713

0,048

# PROTOKOL SIMULACE TAŽENÍ

Název dílu: 70027009

List:

6

Počet listů:

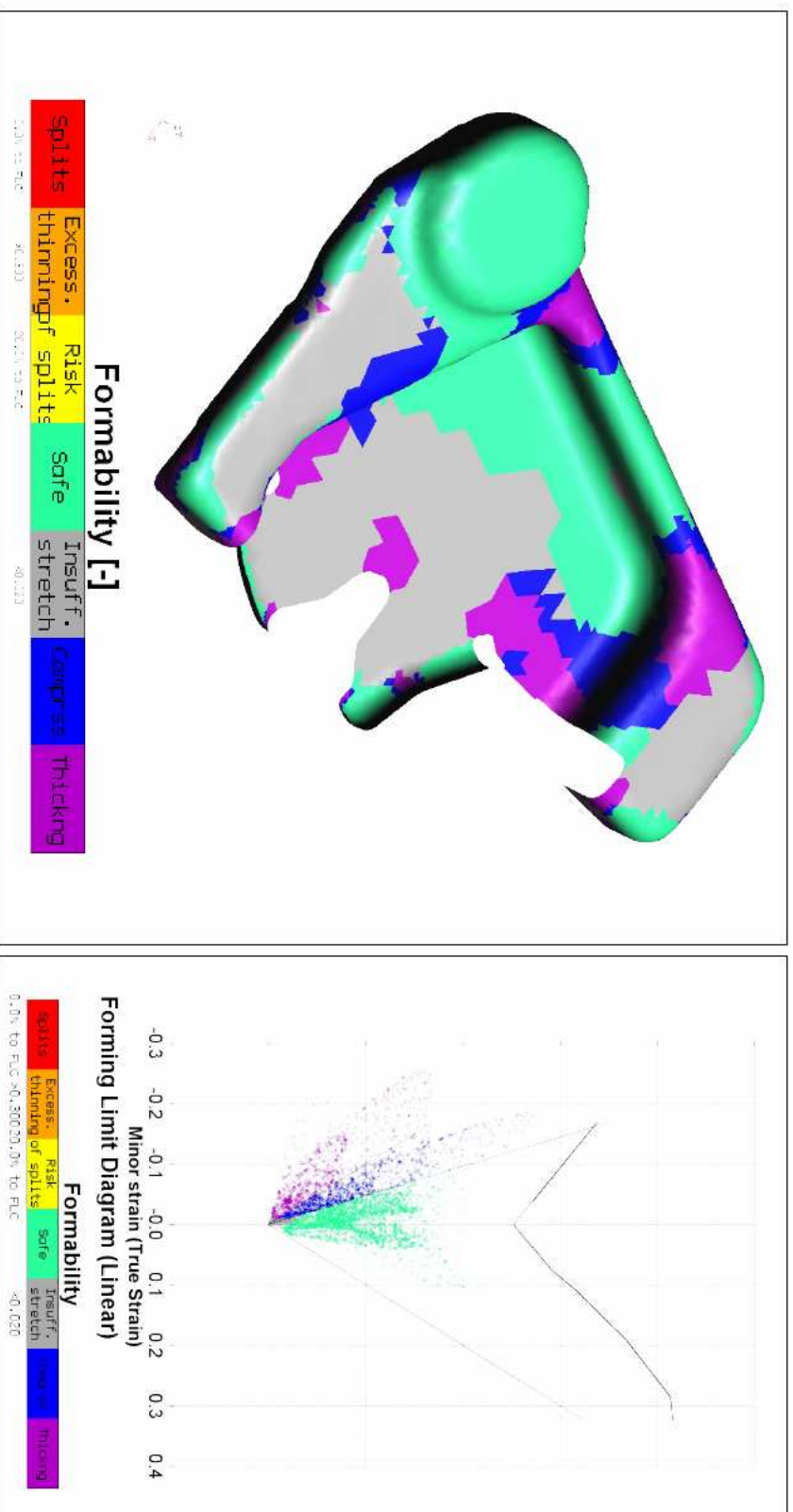
10

Název simulace:

6\_BL3\_TRM\_UPR\_PRO\_ODL\_OBST\_PP1\_PTH1\_PD1\_CUT1\_TRM\_PL1\_13\_PL2\_1\_DL\_506\_T1\_N05\_S420MC\_OVERENI\_VYKUSU\_DATsim

Protokol číslo: 1

## ELD diagram - Přetvoření výlisku





## PROTOKOL SIMULACE TAŽENÍ

Název dílu: 70027009

List:

7

Počet listů:

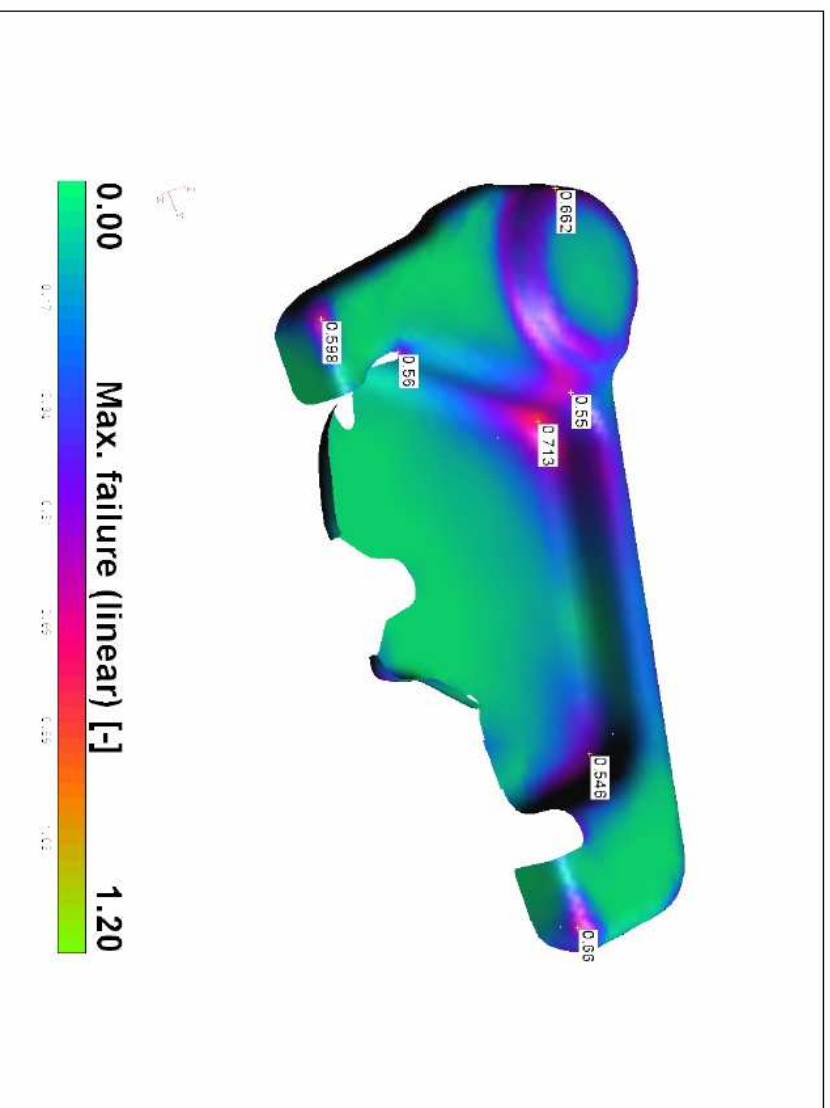
10

Název simulace:

6\_BL3\_TRM\_UPR\_PRO\_ODL\_OBST\_PP1\_PTH1\_PD1\_CUT1\_TRM\_PL\_1\_13\_PL2\_1\_DL\_506\_T1\_N05\_S420MC\_OVERENI\_VYKUSU\_DATsim

Protokol číslo: 1

### Failure - Přetvoření výlisku (porušení)



Hraníční hodnoty porušení :

- 0.8 - Při překročení této hodnoty nastává řízkové porušení výlisku.

- 1 - Při překročení této hodnoty dochází k porušení výlisku.

## PROTOKOL SIMULACE TAŽENÍ

Název dílu: 70027009

List:

8

Počet listů:

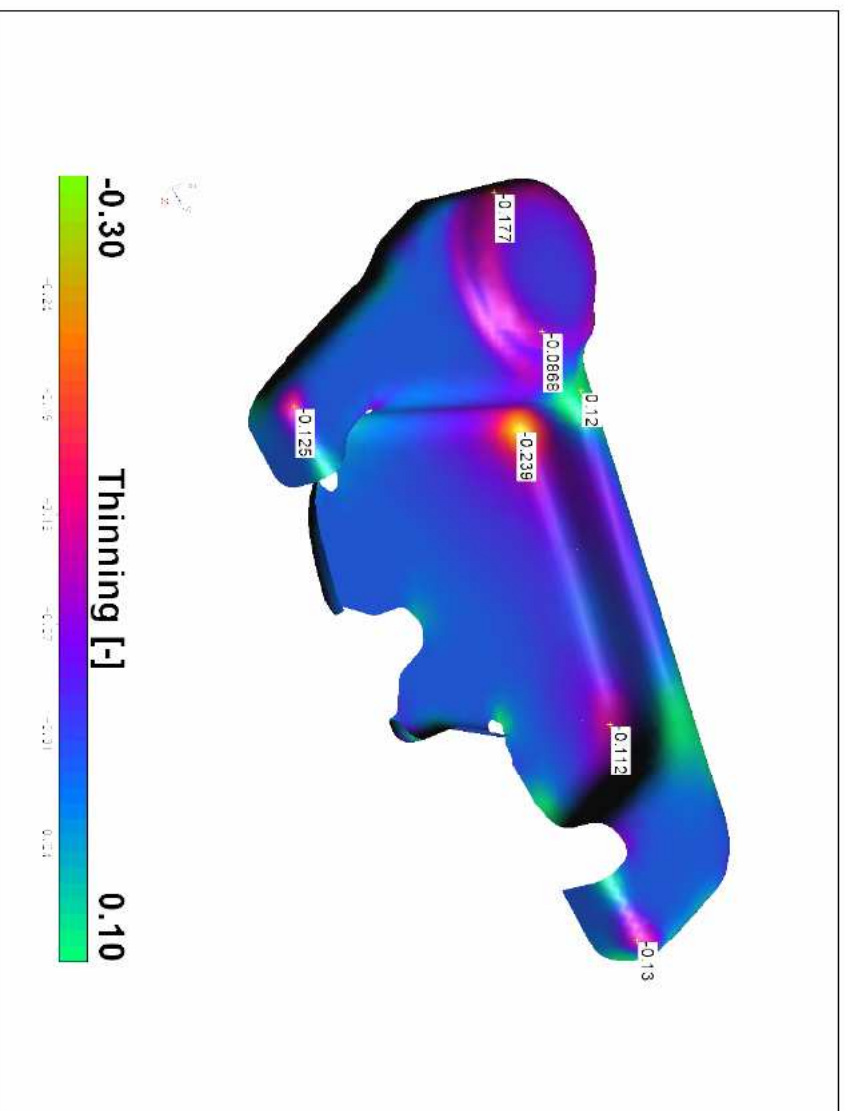
10

Název simulace:

6\_BI3\_TRM\_UPR\_PRO\_ODL\_OBST\_PP1\_PTH1\_PD1\_CUT1\_TRM\_PL1\_13\_PL2\_1\_DL\_506\_T1\_N05\_S420MC\_OVERENI\_VYKUSU\_DATsim

Protokol číslo: 1

### Thinning - Ztenčení výlisku



**Hraníční hodnota ztenčení je: - 0.30, tedy 30%.**

Při vyhodnocování hodnoty ztenčení je nutné brát v úvahu také hodnoty přetvoření a porušení výlisku.

## PROTOKOL SIMULACE TAŽENÍ

Název dílu: 70027009

List:

9

Počet listů:

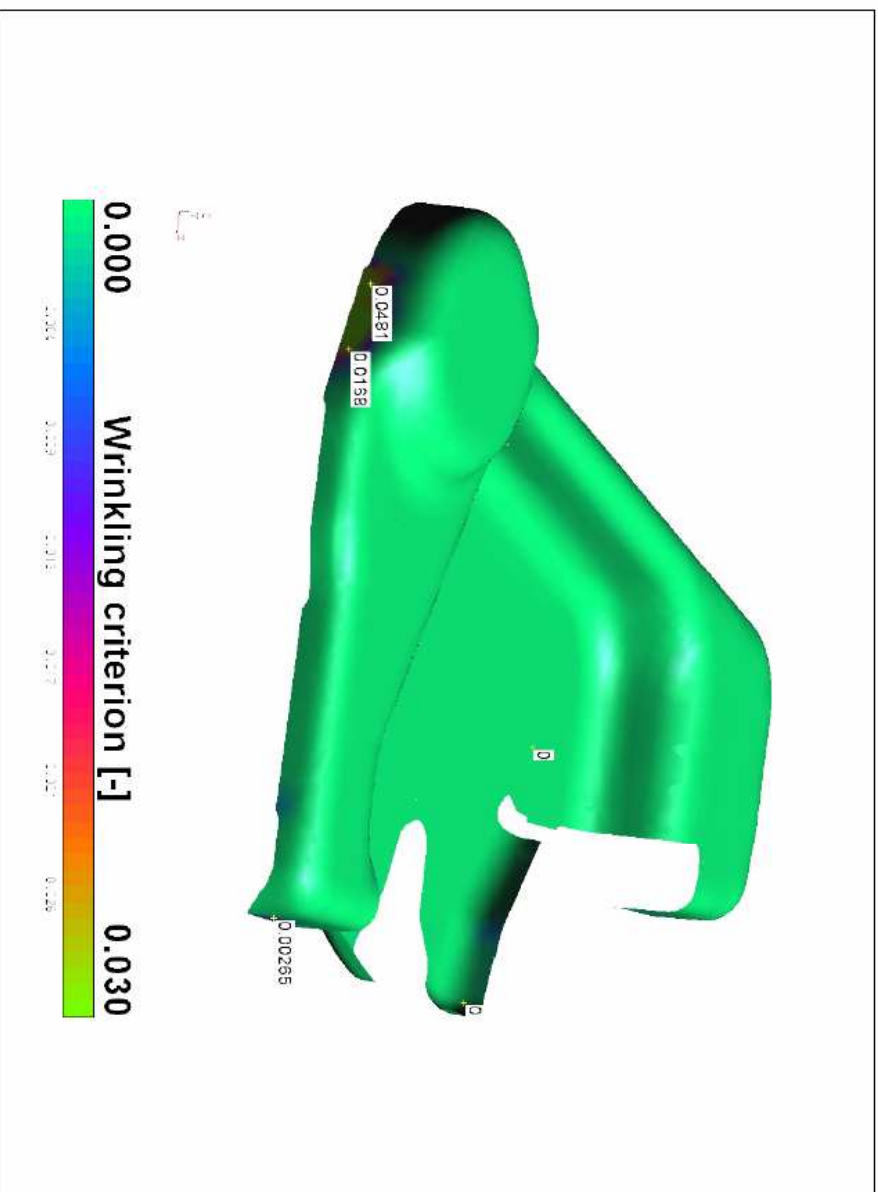
10

Název simulace:

6\_BL3\_TRM\_UPR\_PRO\_ODL\_OBST\_PP1\_PTH1\_PD1\_CUT1\_TRM\_PL1\_13\_PL2\_1\_DL\_506\_T1\_N05\_S420MC\_OVERENI\_VYKUSU\_DATsim

Protokol číslo: 1

### Wrinkling - zvlnění výřisku



#### Hraníční hodnoty zvlnění:

-Pro rovinné plochy: **0,03**

-Pro ohybové (ohnuté) plochy: **0,05**

Hodnoty zvlnění jsou závislé na tloušťce výřisku ( U  
větších tloušťek jsou přípustně větší hodnoty zvlnění,  
maximálně však **0,1**)